

**PEMBUATAN DAN PENGUJIAN KOMPOR GAS BERBAHAN  
BAKAR KULIT KOPI**



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh gelar Diploma Tiga (D-3)  
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh :

YOHANES WANGGETETE 342 07 011

ARDIAN TEGUH PRASETYO 342 07 024

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR**

**2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Dengan ini menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir dengan:

Judul : **“PEMBUATAN DAN PENGUJIAN KOMPOR GAS  
BERBAHAN BAKAR KULIT KOPI”.**

Oleh : 1. Yohanes Wanggetete (34207011)  
2. Ardian Teguh Prasetyo (34207024)

Program Studi : Teknik Konversi Energi

Jurusan : Teknik Mesin

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi program Diploma III (D3) pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 04 November 2010

Mengesahkan,

Pembimbing I



**Muh. Nuzul, S.T., M.T.**  
NIP : 19681207 199903 1 001

Pembimbing II



**Ir. La Ode Musa, M.T.**  
NIP : 19601231 199003 1 021

Mengetahui,

dan Direktur,

Ketua Jurusan Teknik Mesin









**Muh. Tekad, S.T., M.T.**  
NIP : 19650824 199003 1 003

## LEMBAR PENERIMAAN

Pada hari ini, Kamis 04 November 2010 panitia ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil tugas Akhir oleh mahasiswa Yohanes Wanggetete / Ardian Teguh Prasetyo dengan stambuk : 342 07 011 / 342 07 024 dengan judul **“Pembuatan dan Pengujian Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi”**, diajukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 04 November 2010

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- |  |                   |   |
|--|-------------------|---|
| 1. Ir. Nur Hamzah, M.T.<br>(Nip:19631111 199003 1 002)     | ( Ketua )         | (.....  .....) |
| 2. Musrady Mulyadi, S.ST.<br>(Nip:19720201 200112 1 002)   | ( Sekretaris )    | (.....  .....) |
| 3. Jamal, S.T., M.T.<br>(Nip:19730228 200012 1 002)        | ( Anggota I )     | (.....  .....) |
| 4. Sri Suwasti, S.ST., M.T.<br>(Nip:19741123 200112 2 001) | ( Anggota II )    | (.....  .....) |
| 5. Muh. Nuzul, S.T, M.T.<br>(Nip:19681207 199903 1 001)    | ( Pembimbing I )  | (.....  .....) |
| 6. Ir. La Ode Musa, M.T.<br>(Nip:19601231 199003 1 021)    | ( Pembimbing II ) | (.....  .....) |

## ABSTRAK

Yohanes Wanggetete, Ardian Teguh Prasetyo, ***Pembuatan dan Pengujian Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi***. (dibimbing oleh Muhammad Nuzul, dan La Ode Musa) dibuat di Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.

Kulit kopi merupakan hasil perkebunan yang banyak terdapat di wilayah Indonesia. Tidak banyak masyarakat Indonesia mengetahui bagaimana cara untuk memanfaatkan limbah kulit kopi, sebahagian dari masyarakat perkebunan membuang begitu saja kulit buah kopi.

Pada pembuatan kompor gas berbahan bakar kulit kopi, menggunakan kulit ari kopi sebagai bahan bakar. Kulit kopi dibakar dalam reaktor dengan diberi udara primer ke dalam reaktor sehingga terjadi pembakaran parsial dalam reaktor yang menghasilkan gas-gas yang mudah terbakar. Gas tersebut dialirkan ke sungkup untuk dibakar dan nyala api yang dihasilkan berwarna hampir kebiru-biruan.

Dengan menggunakan bahan bakar kulit kopi, hasil analisa data pengujian start dingin nampak bahwa nilai laju konsumsi bahan bakar kulit kopi (FCR) 0,24 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) 124,87 kg/m<sup>2</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) 1,136 m/jam, panas sensibel (SH) 290,904 kJ, panas laten (LH) 388,18 kJ, input energi panas (QF) 29611,87 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ ) 2,29 %, daya input ( $P_i$ ) 1,29 kW, daya output ( $P_o$ ) 0,029 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) 2,19 %, persentase arang yang dihasilkan (% arang) 8,67 %, konsumsi spesifik (SC) 27,78. Dimana waktu mulai penyalaan gas 16 menit 30 detik dan total waktu operasi bahan bakar 34 menit 18 detik. Sedangkan pada pengujian start panas nampak bahwa nilai laju konsumsi bahan bakar kulit kopi (FCR) 0,466 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) 184,09 kg/m<sup>3</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) 1,675 m/jam, panas sensibel (SH) 290,904 kJ, panas laten (LH) 422,04 kJ, input energi panas (QF) 29611,87 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ ) 2,41 %, daya input ( $P_i$ ) 2,51 kW, daya output ( $P_o$ ) 0,060 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) 2,36 %, persentase arang yang dihasilkan (% arang) 10,8 %, konsumsi spesifik (SC) 15,625. Dimana waktu mulai penyalaan gas 2 menit 12 detik dan total waktu operasi bahan bakar 23 menit 17 detik.

## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum Wr Wb,*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat merampungkan tugas akhir ini dalam rangka penyelesaian studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Sebagai manusia biasa yang tak luput dari kekurangan, penulis sangat menyadari bahwa Tugas Akhir ini kemungkinan masih terdapat banyak kekeliruan yang memerlukan perbaikan. Hal ini tidak lain karena keterbatasan ilmu dan kemampuan yang penulis miliki. Karena itu, penulis berharap saran dan kritik dari segenap pihak demi perbaikan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibunda dan ayahanda kami yang tercinta serta saudara(i) yang menyumbangkan doa restunya sehingga terselesainya laporan akhir ini.
2. Bapak **Dr. Pirman, M.Si** selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak **Muh Tekad, S.T., M.T** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak **Ir. Lewi, M.T** selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak **Jamal, ST, MT** selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi.
6. Bapak **Abram Tangkemanda, S.T., M.T** selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

7. Bapak **Muh. Nuzul, S.T., M.T** selaku pembimbing I dan bapak **Ir. La Ode Musa, M.T** selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan, dan nasehat dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
8. Segenap dosen di Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan program studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurang waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan membimbing penulis selama studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
9. Para staf pegawai dan teknisi program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin yang dengan kesabaran telah banyak membantu penulis.
10. Pimpinan dan staf PT. SULOTCO JAYA ABADI Toraja, atas kesediaannya memberikan kami kulit kopi sebagai bahan bakar proyek akhir kami.
11. Teman-teman mahasiswa konversi energi '07 (CONERA '07) dan segenap teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan ini meski penyusun tidak dapat menguraikan satu persatu.

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa, membalas segala jerih payah dari semua pihak yang turut berpartisipasi dalam penyusunan laporan ini. Amin.

Makassar, Oktober 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
LEMBAR JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SIMBOL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Definisi kopi dan kulit kopi.....	5
2.1.1 Kopi.....	5
2.1.2 Kulit kopi.....	7
2.2 Prinsip kerja gasifikasi .....	15
2.3 Komponen kompor gas berbahan bakar kulit kopi.....	17
2.4 Parameter-parameter yang dihitung.....	17
2.5 Dasar-dasar rancang bangun .....	18
2.5.1 Pemilihan bahan kerja .....	18
2.5.2 Metode penyambungan.....	20
<b>BAB III METODE RANCANG BANGUN KOMPOR GAS KULIT KOPI</b>	
3.1 Tempat dan waktu penelitian .....	23
3.2 Alat dan bahan yang digunakan.....	23

3.3	Flowchart rancang bangun kompor gas kulit kopi.....	25
3.4	Gambar konstruksi rancangan .....	26
3.5	Prosedur kerja .....	27
3.5.1	Perancangan desain .....	27
3.5.2	Perakitan alat.....	32
3.5.3	Prosedur pengujian.....	33
3.5.4	Teknik pengambilan data.....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Hasil .....	43
4.2	Pembahasan .....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		60
<b>LAMPIRAN</b> .....		62





## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Produksi dan ekspor rata-rata per tahun.....	13
Tabel 2. Analisis kimia dari kulit kopi.....	14



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1 Bagian-bagian kopi.....	6
Gambar 2 Prinsip kerja kompor gas berbahan bakar kulit kopi .....	16
Gambar 3 Prinsip kerja ruang bakar .....	17
Gambar 4 Flowchart proses perancangan kompor gas kulit kopi .....	25
Gambar 5 Konstruksi kompor gas kulit kopi .....	26
Gambar 6 Hasil rancang bangun kompor gas kulit kopi.....	43
Gambar 7 Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar (FCR) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin.....	53
Gambar 8 Grafik perbandingan efisiensi termal kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin.....	53
Gambar 9 Grafik perbandingan konsumsi spesifik (SC) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin .....	54
Gambar 10 Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar (FCR) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas.....	54
Gambar 11 Grafik perbandingan efisiensi termal kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas .....	55
Gambar 12 Grafik perbandingan konsumsi spesifik (SC) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas .....	55

## DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
FCR	Fuel Consumption Rate (Laju Konsumsi Bahan Bakar)	kg/jam
SGR	Specific Gasification Rate (Laju Gasifikasi Spesifik)	kg/m <sup>2</sup> .jam
CZR	Combustion Zona Rate (Laju Zona Pembakaran)	m/jam
SH	Sensible Heat (Panas sensibel)	kJ
LH	Laten Heat (Panas Laten)	kJ
QF	Input Energi Panas	kJ
TE	Thermal Efficiency (Efisiensi termal)	%
P <sub>i</sub>	Power Input (Daya Input)	kW
P <sub>o</sub>	Power Output (Daya Output)	kW
SC	Specific Consumption (Konsumsi Spesifik)	
Vol	Volume Reaktor	m <sup>3</sup>
m <sub>w</sub>	Massa Air	kg
C <sub>p</sub>	Panas Spesifik Air	kJ/kg.°C
T <sub>f</sub>	Temperatur didih air	°C
T <sub>i</sub>	Temperatur awal Air	°C
m <sub>g</sub>	Massa air yang diuapkan	kg
h <sub>fg</sub>	Laten air	kJ/kg
WFU	Massa bahan bakar yang digunakan dalam kompor	kg

HHV	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg
D	Diameter reaktor	mm
H	Tinggi reaktor	mm
t	Waktu operasi	jam
$\rho_{\text{(kulit kopi)}}$	Massa jenis kulit kopi	kg/m <sup>3</sup>
$f_0$	Berat awal bahan bakar sebelum dibakar	kg
$a_f$	Berat arang jika $f_0$ habis terbakar	kg
$d_t$	Berat bahan bakar dan arang pada saat $t$	kg
$f_t$	Berat bahan bakar pada saat $t$	kg
$a_t$	Berat arang pada saat $t$	kg
k	Fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis	kg



## DAFTAR LAMPIRAN

		<b>Halaman</b>
Lampiran A	DATA PENGAMATAN .....	63
Lampiran B	HASIL ANALISA .....	64
Lampiran C	SIFAT UAP .....	65
Lampiran D	ANALISA BAHAN BAKAR .....	66
Lampiran E	FOTO ALAT .....	67
Lampiran F	WATER BOILING TEST .....	68
Lampiran G	GAMBAR DETAIL ALAT .....	69
Lampiran H	Cp Air .....	70
Lampiran I	SIFAT-SIFAT BAHAN BAKAR.....	71



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kenaikan harga bahan bakar minyak dan menipisnya cadangan sumber minyak bumi di Indonesia dapat menjadi penghambat pembangunan pertanian berkelanjutan. Atas dasar masalah tersebut, maka diperlukan upaya untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Salah satu potensi energi alternatif adalah limbah biomassa yang dihasilkan dari aktivitas produksi perkebunan yang jumlahnya sangat besar.

Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan, dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditi yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan, dan pertanian. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36 % dari potensi yang ada (Hendrison, 2003; Agustina, 2004). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan, seperti biomassa, yang cukup besar sekitar 50.000 MW. Tetapi jumlah tersebut berbanding terbalik dengan pemanfaatannya yang telah dilakukan (Isroi dan Mahajoeno, 2005).

Biomassa merupakan bahan organik yang berpotensi menjadi energi alternatif, umumnya berasal dari hasil perkebunan, pertanian, dan produk dari hutan (Syafi'i dalam Husada, 2008). Bahan organik yang berasal dari sampah perkebunan, seperti kulit kopi, dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber alternatif energi. Antolin dalam Subroto (2007) menyatakan bahwa kulit kopi

memiliki nilai kalor yang tinggi, kadar air yang rendah, serta kandungan sulfur yang cukup rendah. Selain sebagai sumber energi biomassa, limbah kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan pupuk kompos.

Dari fakta dan data yang ada menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar fosil semakin mendekati punah, jumlah cadangan semakin menipis, harga yang tidak stabil (kecenderungan terus meningkat) dan kabar bahwa bahan bakar fosil menjadi penyebab pemanasan global, serta penyebab terjadinya kerusakan lingkungan sudah mulai terbukti.

Kopi merupakan salah satu komoditas penting didalam perdagangan dunia. Areal perkebunan kopi di Indonesia mencapai lebih dari 1,291 juta hektar dimana 96% diantaranya adalah areal perkebunan kopi rakyat (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2006). Melyani (2009) menyatakan bahwa pada tahun 2009 produksi kopi Indonesia mencapai total 689.000 ton. Produksi kopi robusta mencapai 81% dari total produksi (sekitar 557.000 ton) dan 19% untuk produksi kopi Arabika (sekitar 131.000 ton).

Di samping itu sumber energi biomassa mempunyai keuntungan pemanfaatan (Syafi'i, 2003) antara lain :

1. Sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang *renewable resources*.
2. Sumber energi ini relative tidak mengandung unsure sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara sebagaimana yang terjadi pada bahan bakar fosil.
3. Pemanfaatan energi biomassa juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian.

Bertitik tolak dari latar belakang di atas, maka kami mengangkat judul tugas akhir “Pembuatan dan Pengujian Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas antara lain:

1. Bagaimana memanfaatkan limbah perkebunan kulit kopi sebagai bahan bakar alternatif.
2. Bagaimana membuat model kompor gas berbahan bakar kulit kopi yang efektif dan efisien digunakan dalam rumah tangga.
3. Bagaimana menentukan indikator performansi kompor gas melalui efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar (FCR) dan spesifik konsumsi (SC).

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin di capai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Memanfaatkan limbah kulit kopi sebagai bahan bakar alternatif.
2. Membuat model kompor gas berbahan bakar kulit kopi yang efektif dan efisien digunakan dalam rumah tangga sehingga mengurangi dampak polusi udara akibat penggunaan bahan bakar fosil.
3. Menentukan indikator performansi kompor gas melalui efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar (FCR) dan spesifik konsumsi (SC).



#### 1.4 Manfaat

Sedangkan manfaat yang ingin dicapai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Membantu program pemerintah dalam pengembangan energi alternatif, khususnya pada pemanfaatan kulit kopi sebagai bahan bakar dalam rumah tangga.
2. Sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat dalam ketersediaan energi alternatif ditengah krisis energi global saat ini.
3. Perancangan dan pembuatan kompor gas berbahan bakar kulit kopi diharapkan mampu menjadi acuan dalam pengembangan kompor gas berbahan bakar kulit kopi dalam skala besar, dan juga nantinya mampu dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik
4. Mengurangi besarnya dampak polusi udara yang diakibatkan oleh penggunaan energi berbahan bakar fosil dalam rumah tangga, industri dan penggunaannya pada kendaraan bermotor.
5. Diharapkan pemanfaatan limbah kulit kopi dapat mengurangi dampak polusi tanah dan air.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Kopi dan Kulit Kopi

##### 2.1.1 Kopi

Kopi (*Coffea sp.*) adalah spesies tanaman berbentuk pohon yang termasuk dalam keluarga Rubiaceae dan Genus Coffea. Tanaman kopi terdiri atas banyak jenis antara Coffea arabica, Coffea robusta dan Coffea liberica. Negara asal tanaman kopi adalah Abessinia yang tumbuh di dataran tinggi. Tanaman ini tumbuhnya tegak, bercabang, dan bila dibiarkan tumbuh dapat mencapai tinggi 12 m. Biji kopi terletak di dalam buah yang berwarna merah atau ungu, dimana buah pada umumnya mengandung dua inti yang saling berhimpit.

Tanaman kopi Robusta tumbuh baik di dataran rendah sampai ketinggian sekitar 1.000 m di atas permukaan laut, daerah-daerah dengan suhu sekitar 20<sup>0</sup> C. Tanaman kopi arabika menghendaki daerah-daerah yang lebih tinggi sampai ketinggian sekitar 1700 m di atas permukaan laut, daerah-daerah yang umumnya dengan suhu sekitar 10-16°C. Tanaman kopi liberika dapat tumbuh di dataran rendah. Untuk tumbuh subur kopi diperlukan curah hujan sekitar 2.000-3.000 mm tiap tahun serta memerlukan waktu musim kering sekurang-kurangnya 1-2 bulan pada waktu berbunga dan pada waktu pemetikan buah. Tanaman kopi mulai dapat menghasilkan setelah umur 4-5 tahun tergantung pada pemeliharaan dan iklim setempat. Tanaman kopi dapat memberi hasil tinggi mulai umur 8 tahun dan dapat berbuah baik selama 15-18 tahun, jika pemeliharaan tanaman kopi baik, akan

menghasilkan sampai umur sekitar 30 tahun. Buah kopi terdiri atas tiga bagian, yaitu :

1. lapisan kulit luar (*exocarp*)
2. lapisan daging (*mesocarp*)
3. lapisan kulit tanduk (*endoscarp*)

Di dalam kopi terdapat beberapa lapisan yang menyusunnya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Bagian-Bagian Kopi (Anonim, 2010a).

Kulit luar terdiri dari satu lapisan yang tipis, daripada buah yang masih muda bewarna hijau tua yang kemudian berangsur-angsur berubah menjadi hijau kuning, kuning dan akhirnya menjadi merah sampai merah hitam kalau buah itu telah masak sekali. Dalam keadaan yang sudah masak, daging buah berlendir yang rasanya agak manis. Keadaan kulit bagian dalam, yaitu endocarpanya cukup keras dan kulit ini biasanya disebut kulit tanduk. Biji buah kopi terdiri atas dua bagian, yaitu kulit biji atau yang lebih dikenal dengan nama kulitan dan putih lembaga (*endosperm*). Pada permukaan biji di bagian yang datar, terdapat saluran yang arahnya memanjang dan dalam, merupakan celah lubang yang panjang, sepanjang

ukuran biji. Sejajar dengan saluran itu, terdapat pula satu lubang yang berukuran sempit, dan merupakan satu kantong yang tertutup. Di sebelah bawah dari kantong itu terdapat lembaga (*embryo*) dengan sepasang daun yang tipis dan dasar akar. Kedua bagian ini berwarna putih.

Buah kopi pada umumnya mengandung 2 butir biji, tetapi kadang-kadang mengandung hanya sebutir saja. Pada kemungkinan yang pertama biji-bijinya mempunyai bidang datar (perut biji) dan bidang cembung (punggung biji). Pada kemungkinan yang kedua biji kopi berbentuk bulat panjang (kopi jantan). Komposisi kimia biji kopi berbeda-beda, tergantung tipe kopi, tanah tempat tumbuh dan pengolahan kopi. Struktur kimia yang terpenting terdapat didalam kopi adalah kafein dan kafeol. Kafein yang menstimuli kerja saraf, kafeol memberikan flavor dan aroma yang baik. Bentuk murni kafein dijumpai sebagai kristal berbentuk tepung putih atau berbentuk seperti benang sutera yang panjang dan kusut. Bentuk kristal benang itu berkelompok akan terlihat seperti bulu domba. Kristal kafein mengikat satu molekul air, dapat larut dalam air mendidih. Di dalam pelarut organik maka pengkristalan yang terjadi tanpa ikatan molekul air. Kafein mencair pada suhu  $235^{\circ}\text{C}$ - $237^{\circ}\text{C}$  dan akan menyublim pada suhu  $176^{\circ}\text{C}$  dalam ruangan terbuka. Kafein mengeluarkan bau yang wangi, mempunyai rasa yang sangat pahit dan mengembang di dalam air.

### **2.1.2 Kulit Kopi**

Kopi merupakan salah satu komoditas penting di dalam perdagangan dunia. Areal perkebunan kopi di Indonesia mencapai lebih dari 1,291 juta hektar dimana 96% diantaranya adalah areal perkebunan kopi rakyat (Direktorat Jenderal

Perkebunan, 2006). Melyani (2009) menyatakan bahwa pada tahun 2009 produksi kopi Indonesia mencapai total 689.000 ton. Produksi kopi robusta mencapai 81% dari total produksi (sekitar 557.000 ton) dan 19% untuk produksi kopi Arabika (sekitar 131.000 ton).

Pengolahan yang dilakukan untuk mendapatkan kulit kopi yang digunakan sebagai bahan bakar adalah pengolahan seraca semi basah. Pengolahan secara semi basah saat ini banyak diterapkan oleh petani kopi arabika di Aceh, Sumatera Utara dan Sulawesi Selatan. Cara pengolahan tersebut menghasilkan kopi dengan citarasa yang sangat khas, dan berbeda dengan kopi yang diolah secara basah penuh (WP). Ciri khas kopi yang diolah secara semi-basah ini adalah berwarna gelap dengan fisik kopi melengkung. Kopi Arabika cara semi-basah biasanya memiliki tingkat keasaman lebih rendah dengan bodi lebih kuat dibanding dengan kopi olah basah penuh. Proses cara semi-basah juga dapat diterapkan untuk kopi Robusta. Secara umum kopi yang diolah secara semi-basah mutunya sangat baik. Proses pengolahan secara semi-basah lebih singkat dibandingkan dengan pengolahan secara basah penuh. Untuk dapat menghasilkan biji kopi hasil olah semi-basah yang baik, maka harus mengikuti prosedur pengolahan yang tepat, yaitu seperti pada gambar berikut:

Panen Pilih → Sortir Buah → Pengupasan kulit buah merah → Fermentasi + pencucian lendir → Penjemuran 1-2 hari, KA ± 40% → Pengupasan kulit cangkang → Penjemuran biji sampai KA 11 - 13 % → Sortasi dan pengemasan → Penyimpanan dan penggudangan

1. Pengupasan kulit buah
  1. Proses pengupasan kulit buah (*pulp*) sama dengan pada cara basah-penuh. Untuk dapat dikupas dengan baik, buah kopi harus tepat masak (merah) dan dilakukan sortasi buah sebelum dikupas, yaitu secara manual dan menggunakan air untuk memisahkan buah yang diserang hama.
  2. Pengupasan dapat menggunakan pulper dari kayu atau metal. Jarak silinder dengan silinder pengupas perlu diatur agar diperoleh hasil kupasan yang baik (utuh, campuran kulit minuman) beberapa tipe pulper memerlukan air untuk membantu proses pengupasan
  3. Biji HS dibersihkan dari kotoran kulit dan lainnya sebelum difermentasi.
2. Fermentasi dan Pencucian
  1. Untuk memudahkan proses pencucian, biji kopi HS perlu difermentasi selama semalam atau lebih. Apabila digunakan alat-mesin pencuci lendir, proses fermentasi dapat dilalui.
  2. Proses fermentasi dilakukan secara kering dalam wadah karung plastik atau tempat dari plastik yang bersih.
  3. Setelah difermentasi semalam kopi HS dicuci secara manual atau menggunakan mesin pencuci (*washer*).
3. Pengeringan awal
  1. Pengeringan awal dimaksudkan untuk mencapai kondisi tingkat kekeringan tertentu dari bagian kulit tanduk/cangkang agar mudah dikupas walaupun kondisi biji masih relatif basah.

2. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan penjemuran selama 1-2 hari sampai kadar air mencapai sekitar  $\pm 40\%$ , dengan tebal lapisan kopi kurang dari 3 cm (biasanya hanya satu lapis) dengan alas dari terpal atau lantai semen.
3. Biji kopi dibalik-balik setiap  $\pm 1$  jam agar tingkat kekeringannya seragam.
4. Jaga kebersihan kopi selama pengeringan.

4. Pengupasan kulit tanduk/cangkang

Pengupasan kulit tanduk/cangkang pada kondisi biji kopi masih relatif basah dapat dilakukan dengan menggunakan huller yang didisain khusus untuk proses tersebut. Agar kulit dapat dikupas maka kondisi kulit harus cukup kering walaupun kondisi biji yang ada didalamnya masih basah:

1. Pastikan kondisi huller bersih, berfungsi normal dan bebas dari bahan-bahan yang dapat mengkontaminasi kopi sebelum digunakan.
2. Lakukan pengupasan sesaat setelah pengeringan/penjemuran awal kopi HS. Apabila sudah bermalam sebelum dikupas kopi HS harus dijemur lagi sesaat sampai kulit cukup kering kembali.
3. Atur aturan huller dan aliran bahan kopi agar diperoleh proses pengupasan yang optimum. Sejumlah tertentu porsi kulit masih terikut bersama biji kopi labu yang keluar dari lubang keluaran biji. Hal tersebut tidak begitu masalah, karna porsi kulit tersebut mudah dipisahkan dengan tiupan udara (aspirasi) setelah kopi dikeringkan.

4. Biji kopi labu yang keluar harus segera dikeringkan, hindari penyimpanan biji kopi yang masih basah karena akan terserang jamur yang dapat merusak biji kopi baik secara fisik atau citarasa, serta dapat terkontaminasi oleh mikotoksin (okhratoksin A, aflatoksin dll).
  5. Bersihkan huller setelah digunakan, agar sisa-sisa kopi dan kulit yang masih basah tidak tertinggal dan berjamur di dalam mesin.
5. Pengeringan biji kopi labu
1. Keringkan biji kopi labu hasil pengupasan dengan penjemuran atau menggunakan mesin pengering mekanis.
  2. Aturan tebal hampan biji kopi kurang dari 5 cm, gunakan alas pelastik atau terpal atau latak semen. Hindari penjemuran langsung diatas permukaan tanah.
  3. Balik-balik massa kopi agar proses pengeringan seragam dan lebih cepat.
  4. Tuntaskan proses pengeringan sampai dicapai kadar air biji 11-12% biasanya diperlukan waktu 3-5 hari dalam kondisi normal.
  5. Hindari penyimpanan biji kopi yang belum kering dalam waktu yang lebih dari 12 jam, karena akan rusak akibat dari serangan jamur.
6. Sortir Kopi Beras
1. Sortir dilakukan untuk memisahkan biji kopi dari kotoran-kotoran non kopi seperti serpihan daun, kayu atau kulit kopi.
  2. Biji kopi beras juga harus disortir secara fisik atas dasar ukuran dan cacat biji. Sortir ukuran dapat dilakukan dengan ayakan mekanis maupun dengan manual.



3. Pisahkan biji-biji kopi cacat agar diperoleh massa biji dengan nilai cacat sesuai dengan ketentuan SNI 01-2907-1999.
7. Pengemasan dan Penggudangan
1. Kemas biji kopi dengan menggunakan karung yang bersih dan baik, serta diberi label sesuai dengan ketentuan SNI 01-2907-1999. Simpan tumpukan kopi dalam gudang yang bersih, bebas dari bau asing dan kontaminasi lainnya.
  2. Karung diberi label yang menunjukkan jenis mutu dan identitas produsen. Cat untuk label menggunakan pelarut non minyak.
  3. Gunakan karung yang bersih dan jauhkan dari bau-bau asing
  4. Atur tumpukan karung kopi diatas landasan kayu dan beri batas dengan dinding
  5. Monitor kondisi biji selama disimpan terhadap kondisi kadar airnya, keamanan terhadap organisme gangguan (tikus, serangga, jamur, dll) dan faktor-faktor lain yang dapat merusak kopi
  6. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penggudangan adalah: kadar air, kelembaban relatif dan kebersihan gudang.
  7. Kelembaban ruangan gudang sebaiknya 70 %.

Pada tabel di bawah ini menunjukkan bahwa jumlah komoditi produksi kopi dan eksport per tahun (ton) dari setiap propinsi di Indonesia dalam menunjang ekspor di Indonesia.

**Tabel 1. Produksi dan ekspor rata-rata per tahun.**

No.	Provinsi	Produksi rata-rata per tahun (ton)	Ekspor rata-rata per tahun (ton)
1	Aceh	40000	4500
2	Sumatra Utara	25000	40000
3	Sumatra Barat	10000	3500
4	Bengkulu	40000	1500
5	Sumatra Selatan	100000	40000
6	Lampung	90000	200000
7	Jakarta	-	1500
8	Jawa Tengah	13000	9600
9	Jawa Timur	15000	20000
10	Bali	15000	500
11	N T T	10000	2500
12	Sulawesi Selatan	10000	2500
Volume/Tipe		Rata-rata 305000 ton per tahun	
Kopi Hijau		97,6%	
Roast & Ground (R & G)		1,4%	
Kopi Encer		0,8%	
Kopi sangria		0,2%	
Pasar Dalam Negeri		120000-140000 ton per tahun	
Persediaan		15000-30000 ton per tahun	

Sumber data : <http://indonesiacoffeebean.com/>

Kulit kopi selama ini tidak mengalami pemrosesan di pabrik karena yang digunakan hanya biji kopi yang kemudian dijadikan bubuk kopi instan (Baon, 2005). Telah dilakukan usaha untuk mengolah limbah kulit kopi untuk keperluan bahan bakar dalam bentuk padat, dimana pemanfaatannya adalah sama seperti briket batubara (Anonim, 2009). Antolin dalam Subroto (2007) menyatakan bahwa kulit kopi memiliki nilai kalor yang tinggi, kadar air yang rendah, serta kandungan sulfur yang cukup rendah. Hal ini diperkuat dengan hasil analisa

terhadap kulit tanduk dan kulit ari untuk kopi jenis Arabica di Kenya oleh Saenger, et al (2001).

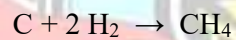
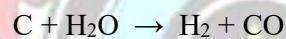
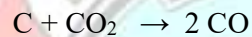
Kulit kopi memiliki kadar air sebesar 10-11%, kadar sulfur sebesar 0,1-0,6%, dan nilai kalor atas sebesar 3.844,68 kal/g-4.346,16 kal/g. Hal ini menjadikan kulit kopi sebagai salah satu bahan organik yang tepat dalam pembuatan eco-briquette sebagai upaya pencarian alternatif energi. Kulit kopi dapat memenuhi persyaratan ini yang dibuktikan dengan kandungan nilai kalor hasil penelitian pendahuluan sebesar 4.616,07 kal/g. Pembakaran limbah kulit kopi menghasilkan kadar sulfur yang rendah. Keringnya kandungan dari limbah kulit kopi akan menguntungkan karena dapat meningkatkan nilai kalor. Kadar air yang tinggi dapat merusak kandungan biji kopi dan menurunkan mutunya. SNI 01-2907-2008 tentang biji kopi telah mensyaratkan batas kadar air dalam pengolahan adalah kopi sebesar 12,5%.

**Tabel 2. Analisis kimia dari kulit kopi**

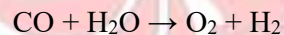
Kandungan	% Komponen
Kadar air	10,5
Abu	1.03
Analisa kandungan zat kimia	
C	39,59
H	4,15
O	13,17
N	23,07
S	0,3

Sumber : *University of Wisconsin-Stevens Point*

Limbah kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat untuk proses termal gasifikasi. Pada proses gasifikasi, terjadi pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif tinggi, yaitu sekitar 900-1200°C. Proses gasifikasi menghasilkan produk tunggal berupa gas dengan nilai kalori 4000-5000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Gas yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan udara panas, menggerakkan motor dan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Konversi energi dengan cara gasifikasi efisiensi panasnya mencapai 50-70%. Proses pembentukan gas pada sistem ini merupakan kelanjutan dari proses pirolisa di mana reaksi yang terjadi adalah:



Pada fase gas beberapa reaksi tambahan dapat terjadi:



## 2.2 Prinsip Kerja Gasifikasi.

Prinsip kerja kompor gas kulit kopi yaitu mengikuti prinsip dalam memproduksi gas pembakaran, yang menggunakan Karbon monoksida (CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan Metana (CH<sub>4</sub>) dari kulit kopi. Dengan pembakaran dan dengan jumlah udara yang terbatas, kulit kopi dibakar untuk mengkonversi bahan bakar ke dalam lapisan arang dan membiarkan oksigen di udara sekitar. Gas yang dihasilkan sepanjang proses yang bereaksi dengan karbon di dalam ruang tempat arang pada suatu temperatur yang lebih tinggi, menghasilkan Karbon monoksida

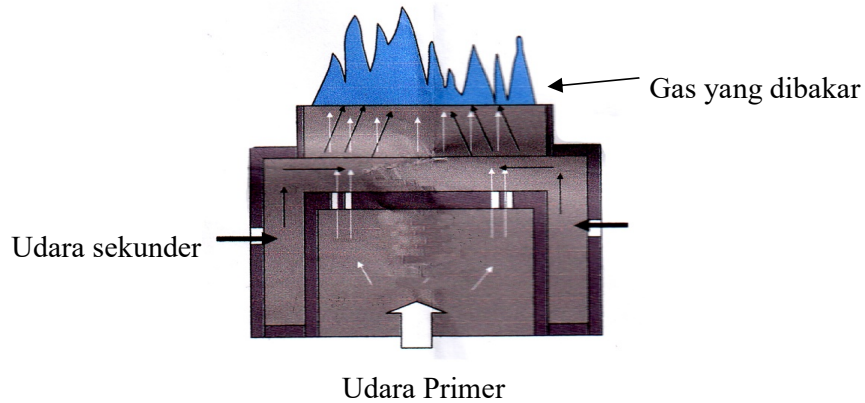
(CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan gas metana (CH<sub>4</sub>) yang mudah menyala. Adapun gas-gas yang lain, seperti gas asam-arang (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) yang sulit menyala, juga diproduksi selama proses perubahan menjadi gas.

Dengan adanya jumlah udara yang diperlukan untuk mengubah bahan bakar kulit kopi menjadi gas telah tercapai. Pada Gambar 2, menunjukkan bahwa bahan bakar kulit kopi dibakar di dalam reaktor secara *batch* (pengelompokan). Pada saat pembakaran pertama bahan bakar dinyalakan melalui inlet reaktor, dimana reaktor adalah media atau tempat pembakaran kulit kopi. Apabila semakin besar jumlah hembusan udara yang masuk pada ruang penempatan kulit kopi dalam reaktor, maka semakin cepat tercipta arang atau karbon.

Selanjutnya karbon bereaksi dengan udara yang masuk pada kompor. Sedangkan pada Gambar 3, menunjukkan bahwa gas yang keluar melalui pembakaran, diarahkan ke ruang bakar. Udara secara alami akan masuk dan mendorong gas yang telah terbakar, melalui lubang sekunder. Sehingga diperoleh nyala api yang berwarna biru.



**Gambar 2** Prinsip Kerja Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi.



**Gambar 3** Prinsip Kerja Ruang Bakar (Reaktor).

### 2.3 Komponen Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi.

Pada perancangan Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi ini mempunyai komponen yang terdiri dari sungkup, reaktor atau ruang bakar, pengarah konvergen, pipa saluran gas, tempat kipas, dan dudukan kompor. Untuk pada bagian kipas (blower) kami memilih yang telah ada dipasaran.

### 2.4 Parameter-Parameter yang Dihitung.

1. Pemakaian bahan bakar (FCR)

$$FCR = \text{berat bahan bakar (kg) / waktu (jam)} \dots \dots \dots (1)$$

2. Energi yang di perlukan untuk menaikkan temperatur (SH) (kkal)

$$SH = m_w \times c_p \times (T_f - T_i) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :  $m_w$  = massa air, kg (1 kg/liter)

$c_p$  = panas jenis air, 1 kkal/kg°C

$T_f$  = temperatur air setelah mendidih 100°C

$T_i$  = temperatur air sebelum mendidih, 27-30°C

3. Panas laten (LH) (kkal)

$$LH = m_g \times h_{fg} \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

$m_g$  = berat/beban air menguapkan, kg

$h_{fg}$  = panas laten air, 539,15 kkal/kg

4. Efisiensi (%)

$$\text{Efisiensi} = \frac{SH + LH}{HHV \times m_{bb}} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

SH = panas sensibel, kkal

LH = panas laten, kkal

HHV = nilai pemanasan bahan bakar, kkal/kg

$m_{bb}$  = berat bahan bakar, kg

## 2.5 Dasar-Dasar Rancang Bangun

### 2.5.1 Pemilihan Bahan Kerja

Dalam pemilihan bahan kerja secara tepat dan efisien dibutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat mekanis sebagai bahan pertimbangan dalam memilih bahan. Sifat-sifat yang paling penting adalah elastisitas dan kekakuannya. Sifat-sifat lainnya adalah keliatan, kemamputan, kekerasan daya lenting dan kemampu-mesinan, serta pertimbangan lainnya adalah ekonomis dan dapat dijangkau.

Menurut Jansen (1983), Baja (*steel*) adalah suatu produksi besi yang mengandung kadar karbon berkisar 1,7 %. Produk ini secara teknis dinyatakan sebagai baja karbon (*carbon steel*). Baja paduan (*alloy steel*) adalah suatu baja karbon yang telah ditambahkan satu atau lebih unsur-unsur tambahan dalam jumlah yang cukup menghasilkan sifat-sifat dikehendaki, yang dimiliki oleh baja karbon.

Besi murni (ferit) tidak mengandung karbon. Besi ini relatif lunak dan liat serta mampu tempa, tetapi tidak kuat. Hampir semua besi murni mempunyai kekuatan tarik batas sekitar 40.000 psi. Penambahan karbon dalam besi murni dalam jumlah yang berkisar dari 0,05-1,7 %, menghasilkan apa yang dinamakan baja. Karbon menaikkan kekuatan dan kekerasan, tetapi mengurangi keliatan dan keuletan. Kandungan karbon sekitar 0,1 % menghasilkan apa yang dikatakan baja lunak (*soft steel*) dengan kekuatan tarik 50.000 psi, yang cocok untuk dijadikan pelat. Baja struktur (*structural steel*) umumnya digunakan untuk dijadikan bentuk-bentuk struktur seperti siku, balok, dan kolom yang mengandung sekitar 0,25 % karbon yang menghasilkan suatu baja yang cukup liat dan ulet dengan kekuatan tarik batas sekitar 64.000-72.000 psi.

Bila satu atau lebih logam ditambahkan ke dalam baja karbon dalam jumlah yang cukup maka akan diperoleh sifat-sifat baja yang baru, hasil ini dikenal dengan baja paduan (*alloy steel*). Logam paduan yang umum digunakan adalah nikel, mangan, khrom, vanadium, dan molibdenum.



Pelat besi yang digunakan dalam proses pembuatan dan pengujian kompor Kulit Kopi yaitu pelat besi dengan ketebalan 1,2 mm sampai 3 mm, dudukan rangka dengan menggunakan besi siku 2,5 mm.

### **2.5.2 Metode Penyambungan**

Metode penyambungan yang biasa digunakan untuk menyambungkan dua plat yaitu sambungan las, sambungan keling, sambungan sekrup, sambungan baut/pasak. Tetapi pada pembuatan kompor gas berbahan bakar kulit kopi ini digunakan metode sambungan las dan sambungan keling.

#### **a. Sambungan las**

Las adalah suatu proses penyambungan dua potong logam dengan pelumeran bahan las. Selanjutnya kedua bagian yang dilas ditempatkan dengan baik dan dipanasi dengan busur listrik atau busur oksiasetilen. Lelehan logam dari batang las diendapkan pada endapan logam dan dibiarkan dingin dan mengeras.

Berdasarkan media las dikenal jenis las lebur gas (las otogen) yang menggunakan gas asetelin sebagai gas bakar dan batang las. Juga ada las busur api listrik (*electric arc welding*) dengan batang elektroda yang berlapis dimana bagian yang dilas dilebur dengan busur elektrik (3500°C), las gas logam inert (*metal inert gas welding*), las gas logam aktif (*metal active gas welding*), las *Wolform Inert Gas* (WIG), las plasma dengan busur yang dapat mengecil secara mekanik dan las kawat penuh serta las bubuk.

Pengelasan merupakan metode penyambungan yang paling mudah dengan hasil penyambungan yang lebih efisien dan kuat dibanding metode penyambungan lainnya. Pengelasan khususnya sangat sesuai untuk memperbaiki bagian-bagian

yang patah dan untuk penyambungan bagian-bagian konstruksi rangka. Pada proses perancangan kompor gas berbahan bakar kulit kopi ini khususnya pada bagian reaktor menggunakan metode pengelasan busur api listrik, begitu pula untuk rangka dudukan kompor menggunakan metode pengelasan listrik busur api listrik.

b. Sambungan keling

Paku keling adalah batang logam pendek dengan kepala berbentuk payung yang telah terbentuk pada salah satu ujungnya. Lubang-lubang penyatuan dipukulkan atau ditanam pada kedua lempengan yang akan disambung. Setelah lempengan-lempengan ditempatkan pada posisi yang tepat, paku keeling dimasukkan pada logam biasanya dengan palu tangan atau palu pneumatik, kepala paku keling terikat kuat terhadap lempengan yang disambung sementara ujung lainnya dipukul sampai terbentuk kepala lain yang sama sehingga lempengan saling terikat kuat.

Sambungan keling biasanya dipakai sebagai sambungan kekuatan pada konstruksi baja dan logam ringan serta konstruksi mesin pada umumnya, sebagai sambungan kekuatan kedap dalam konstruksi ketel atau tangki dan sebagai sambungan paku untuk kulit pelat dan sebagai sambungan kedap untuk tangki, atau cerobong asap pelat.

Ada dua tipe sambungan paku keling yang umum digunakan yaitu sambungan struktur dan sambungan ketel. Sambungan struktur umumnya digunakan untuk menyambung batang struktur seperti kerangka bangunan atau rangka batang dan sebagainya. Sambungan ketel digunakan pada semua kasus

yang membutuhkan sambungan yang betul-betul kencang. Selain itu ada juga jenis sambungan tumpang dan sambungan temu. Pada sambungan tumpang, pelat yang akan digunakan ditumpukan diatas pelat lain dan bersama-sama diikat dengan satu atau lebih baris paku keling. Pada pertemuan pelat bersama sama disambung dengan dua pelat kait yang masing-masing dikeling pada pelat utama.



## BAB III

### METODE RANCANG BANGUN KOMPOR GAS KULIT KOPI

#### 3.1` Tempat dan Waktu Penelitian.

Pembuatan dan pengujian kompor gas kulit kopi dilaksanakan di bengkel las teknik mesin dan laboratorium teknik konversi energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang pada bulan Juli sampai Oktober 2010.

#### 3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat :

1. Gunting plat
2. Mesin Bor
3. Palu
4. Mesin las
5. Alat penggulung (roll)
6. Mesin Bending
7. Penitik / penggores
8. Mistar baja
9. Jangka sorong
10. Jangka
11. Gergaji besi
12. Thermometer / Thermokopel
13. Stopwatch/ Timer Digital
14. Timbangan Digital
15. Tang keling



16. Gerinder
17. Kuas
18. Amplas
19. Dan perlengkapan kerja bangku lainnya.

**Bahan:**

1. Kulit kopi
2. Plat besi
3. Besi siku
4. Pipa besi
5. Engsel
6. Elektroda
7. Kawat
8. Paku Keling
9. Korek api
10. Cat besi
11. Pembengkokan 90° (*elbow*)

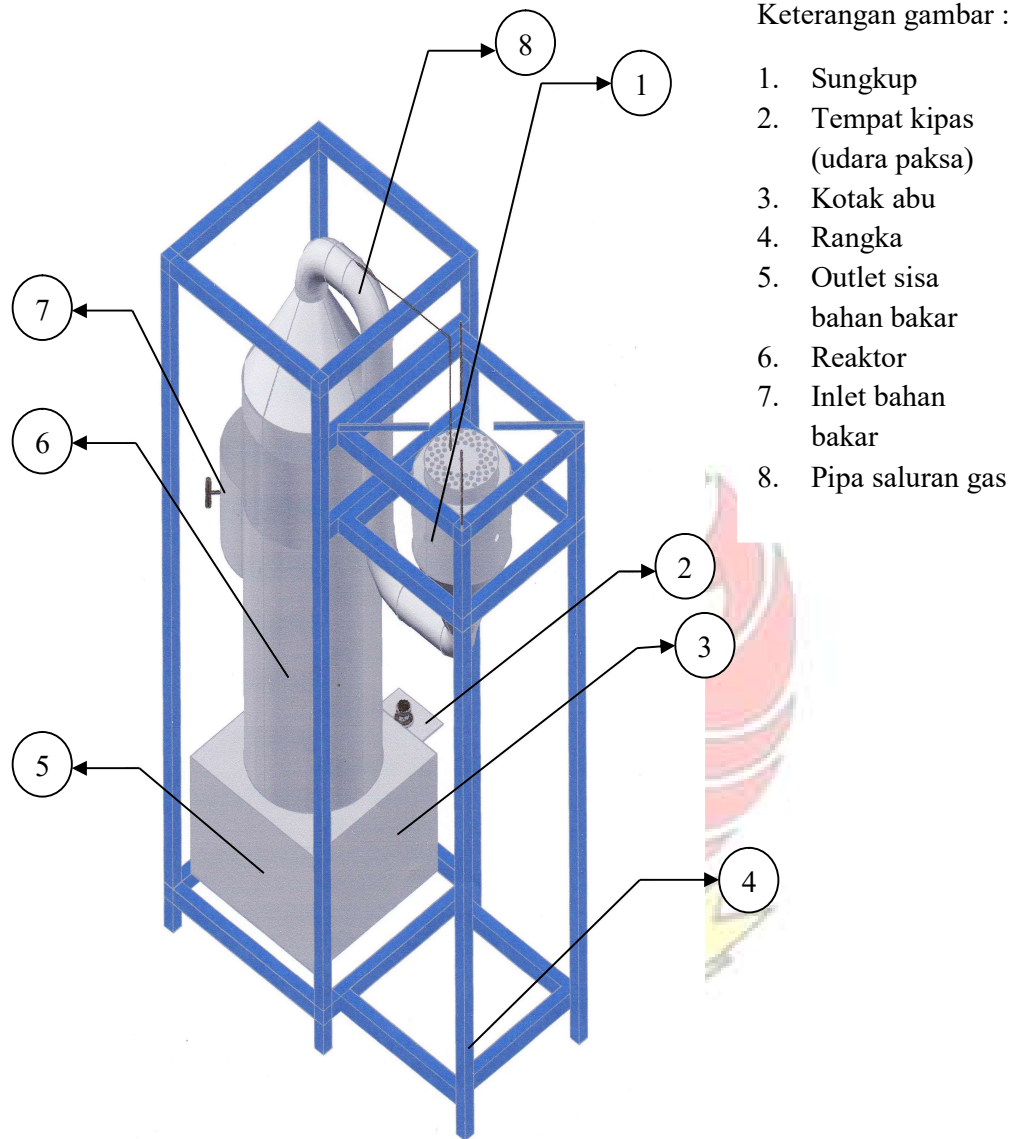


### 3.3 Flowchart Rancang Bangun Kompor Gas Kulit Kopi.



**Gambar 4** Flowchart (Diagram Alir) Proses Perancangan Kompor Gas Kulit Kopi.

### 3.4 Gambar Konstruksi Rancangan



**Gambar 5** Konstruksi kompor gas kulit kopi.

### 3.5 Prosedur Kerja

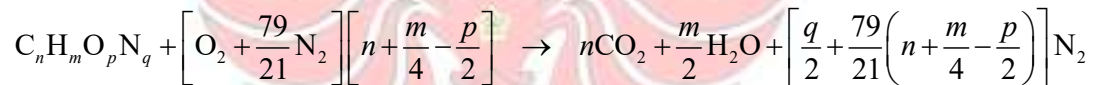
#### 3.5.1 Perancangan Desain

Hal-hal yang akan dilakukan dalam perancangan desain Kompor Gas Berbahan Bakar Kulit Kopi ini yaitu bentuk dan penempatan bagian-bagian kompor sampai dengan ukuran tiap-tiap bagian tersebut. Akan tetapi dalam hal perancangan desainnya kami hanya berfokus kepada bagian reaktornya. Adapun bagian-bagian yang akan didesain yaitu:

a. Reaktor atau Ruang Bakar

Reaktor atau ruang bakar merupakan wadah atau tempat pembakaran kulit kopi yang dibakar secara tidak sempurna untuk menghasilkan gas. Perancangan reaktor disini yaitu menentukan diameter (D) dan tinggi reaktor (h), yaitu :

Secara umum, reaksi pembakaran stoikiometrik biomassa adalah sebagai berikut:



Rasio udara dengan bahan bakar biomassa dari persamaan reaksi di atas diperoleh,

$$AFR = \frac{\text{mol udara}}{\text{mol bahan bakar}} \left( \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

dengan  $M_{\text{udara}}$  adalah berat molekul udara dan  $M_{\text{bahan bakar}}$  adalah berat molekul bahan bakar. Berat molekul udara 28,97 kg/kgmol.

Rasio udara didefinisikan sebagai,

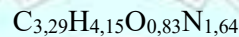
$$\phi = \frac{\dot{m}_{ua}}{\dot{m}_{us}} \dots\dots\dots (6)$$



dengan  $\dot{m}_{ua}$  adalah aliran massa udara aktual yang dimasukkan ke dalam ruang bakar, dan  $\dot{m}_{us}$  adalah aliran massa teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna (atau stoikiometrik) bahan bakar. Untuk gasifier, rasio udara yang biasa digunakan dalam daerah 0,2 dan 0,4.

Berdasarkan Tabel 2 pada halaman 14 maka reaksi perubahan dapat dihitung sebagai berikut:

Berat molekul unsur C = 12 kg/kmol; H = 1 kg/kmol; O = 16 kg/kmol; N = 14 kg/kmol. Rumus kimia biomassa kulit kopi dengan demikian :



Reaksi pembakaran stoikiometrik kulit kopi kemudian :



Berat molekul bahan bakar kulit kopi adalah :

$$M_{\text{bahan bakar}} = (12 \times 3,29) + (1 \times 4,15) + (16 \times 0,83) + (14 \times 1,64) = 79,87 \text{ kg/mol}$$

Rasio udara dengan bahan bakar stoikiometrik :

$$\begin{aligned} AFR &= \frac{3,9125 + 3,9125(3,76)}{1} \left[ \frac{28,97 \frac{\text{kg(udara)}}{\text{kmol(udara)}}}{79,87 \frac{\text{kg(bahan bakar)}}{\text{kmol(bahan bakar)}}} \right] \\ &= 6,755 \frac{\text{kg(udara)}}{\text{kg(bahan bakar)}} \end{aligned}$$

Jadi untuk membakar secara sempurna (stoikiometrik) 1 kg/h kulit kopi diperlukan udara sebanyak  $\dot{m}_{us} = 6,755$  kg/h. Rasio udara gasifikasi kulit kopi berada di antara 0,2 dan 0,4. Rasio udara gasifikasi yang digunakan dalam hal ini

adalah  $\varphi = 0,3$  sehingga udara gasifikasi untuk 1 kg/h kulit kopi yang diperlukan adalah:

$$\varphi = \frac{\dot{m}_{ua}}{\dot{m}_{us}}$$

$$\text{jadi, } \dot{m}_{ua} = \varphi \times \dot{m}_{us}$$

$$= 0,3 \times 6,755 \text{ kg/h}$$

$$= 2,0265 \text{ kg/h}$$

sehingga,

$$D = \left( \frac{1,27 \times \text{FCR}}{\text{SGR}} \right)^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{1,27 \times 2 \text{ kg/jam}}{65 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} \right)^{0,5}$$

$$= 0,197 \text{ m dibulatkan menjadi } = 200 \text{ mm}$$

$$H = \frac{\text{SGR} \times t}{\rho_{(\text{kulit kopi})}}$$

$$H = \frac{65 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam} \times 2 \text{ jam}}{673,7 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0,192 \text{ m}$$

Asumsi :  $t$  = waktu operasi 120 menit

FCR = laju konsumsi bahan bakar 2 kg/jam

SGR = laju spesifik gasifikasi 65 kg/m<sup>2</sup>.jam

$\rho$  = massa jenis kulit kopi 673,7 kg/m<sup>3</sup>

dengan ukuran diameter dalam 200 mm dan diameter luar 300 mm dan tinggi 650 mm. Diameter luar lebih besar dari diameter dalam dengan tujuan diberi isolasi.

b. Pengarah Konvergen

Design pengarah konvergen dibuat dengan cara mereduser pipa reaktor dari ukuran 203,2 mm (8 inci) menjadi ukuran 63,5 mm (2,5 inci) dengan caramembaginya menjadi 8 bagian kemudian dipotong sebagian bahan pipa dengan ukuran tertentu kemudian menyambungnyanya kembali. Fungsi dari pengarah konvergen mengarahkan gas hasil pembakaran menuju ke pipa alir yang kemudian mengalirkan gas menuju sungkup.

c. Pipa Sambungan

Pipa sambungan merupakan bagian yang berfungsi mengalirkan gas hasil pembakaran dari reaktor ke sungkup. Pipa yang digunakan yaitu pipa galvanis dengan diameter 63,5 mm (2,5 inci) dan dibentuk menyerupai bentuk huruf "Z".

d. Sungkup

Pembuatan sungkup pada design kompor gas berbahan bakar kulit kopi ini terdiri dari pengarah gas yang berbentuk menyerupai kerucut dengan diameter lingkaran bawah 63,5 mm dan diameter lingkaran atas 150 mm, kap sungkup dengan diameter 200 mm kemudian di samping kap sungkup dibor sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan dengan diameter 15 mm yang berfungsi sebagai saluran udara sekunder, sarangan dengan diameter 150 mm yang dihubungkan dengan pengarah gas, penyembur gas yang dibor melingkar sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan dengan diameter 8 mm dan dihubungkan dengan sarangan yang berfungsi mengeluarkan gas hasil pembakaran pada reaktor, kap saluran udara dengan diameter lingkaran dalam 150 mm dan diameter lingkaran luar 200 mm yang menutup bagian atas kap sungkup, dan kap sarangan dengan diameter

sama dengan kap saluran udara tetapi untuk menutup bagian bawah kap sungkup yang bersambung dengan sarangan, dimana semua bagian ini terbuat dari besi plat 1,2 mm dengan ukuran yang telah ditentukan.

e. Tempat Kipas

Tempat kipas merupakan media peletakan dudukan kipas yang berbentuk persegi yang terbuat dari seng lembaran yang berfungsi memberikan udara paksa ke dalam reaktor atau ruang bakar untuk membantu terjadinya proses pembakaran. Spesifikasi fan yang digunakan yaitu fan dengan tegangan 220 V dengan arus 0,14 A dengan daya 30 Watt.

f. Tempat Sungkup

Tempat sungkup berbentuk persegi yang merupakan bagian dari dudukan sungkup pembakaran yang terbuat dari besi siku 25×25 mm dengan ukuran 350×350 mm dan tinggi rumah sungkup 920 mm, berfungsi untuk memposisikan sungkup dengan baik agar tidak mudah bergerak dan sebagai dudukan wajan atau periuk.

g. Kotak Abu

Kotak abu merupakan tempat penampungan arang hasil pembakaran dan sebagai dudukan rektor atau ruang bakar, terbuat dari besi plat lembaran 1,2 mm sampai 3 mm yang dilas pada rangka yang terbuat dari besi siku 25×25 mm yang berbentuk persegi dengan ukuran 350 mm dan tinggi kotak 200 mm.

h. Isolator Reaktor atau Ruang Bakar

Isolator ruang bakar terbuat dari seng lembaran yang dibentuk menyerupai ruang bakar dengan diameter 300 mm dan tinggi 800 mm, kemudian jarak antara

isolasi dan reaktor diisi serat kaca agar panas yang dihasilkan pada saat pembakaran pada reaktor tidak terkonveksi keluar (isolasi) sehingga reaktor tidak membahayakan apabila disentuh.

i. Rangka Kompor

Rangka kompor berbentuk persegi yang terbuat dari besi siku 25×25 mm dengan ukuran panjang 400 mm dan lebar 400 mm sedangkan tinggi 1200 mm. Rangka kompor berfungsi sebagai tempat dudukan kompor.

### 3.5.2 Perakitan Alat

Setelah semua bagian-bagian komponen telah dibuat maka langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah tahap perakitan yaitu sebagai berikut:

- a. Ruang bakar atau reaktor disambung dengan kotak abu dengan cara metode pengelasan dengan busur api listrik, dimana ruang bakar atau reaktor diletakkan ditengah bagian atas kotak abu.
- b. Menyambung reaktor yang telah tereduser dengan pembelokan 90° (*elbow*) dengan cara metode pengelasan, kemudian menyambungkan pembelokan 90° (*elbow*) dengan pipa alir dengan metode pengelasan.
- c. Isolator reaktor atau ruang bakar di letakkan sejajar dengan reaktor dan dirangkai bersama dengan kotak abu dan reaktor atau ruang bakar dengan cara dikeling, dimana posisi isolator berada di atas kotak dan menutupi reaktor atau ruang bakar.
- d. Memasukkan reaktor atau ruang bakar pada rangka kemudian las bagian bawah kotak abu dengan bagian bawah rangka sehingga reaktor tidak berubah tempat.

- e. Penyambungkan sungkup dengan tempat sungkup sesuai tempat yang telah ditentukan, kemudian menyambungkan pengarah gas dengan sungkup yang telah terpasang pada tempatnya dengan metode pengelasan.
- f. Penyambungkan tempat sungkup dengan rangka dengan metode pengelasan sehingga pipa alir bisa dihubungkan dengan pengarah gas di bawah sungkup dengan metode pengelasan dengan busur api listrik.
- g. Pemasangan rumah kipas pada bagian belakang kotak abu tempat sesuai dengan tempat yang telah ditentukan dengan cara dikeling.

### 3.5.3 Prosedur Pengujian

Setelah proses perakitan selesai, maka selanjutnya dilakukan pengujian sebagai berikut:

***Langkah awal : dilakukan sekali untuk setiap pengujian***

1. Siapkan kompor gas yang akan diuji, periksa semua bagian-bagian apakah telah terpasang sesuai dengan posisinya.
2. Siapkan bahan bakar kulit kopi yang telah dikeringkan.
3. Siapkan peralatan pengujian seperti timbangan digital, thermokopel, dan stopwatch.
4. Ukur berat bahan bakar kulit kopi yang akan di masukkan ke dalam daerah pembakaran (reaktor). Kemudian mengisi silinder reaktor dengan bahan bakar kulit kopi secara berangsur–angsur.
5. Isi format data dan perhitungan yang telah disiapkan. Dalam hal ini termasuk informasi tentang kompor, bahan bakar dan kondisi pengujian. Nomor masing-masing rangkaian pengujian untuk referensi selanjutnya.

6. Ukur setiap parameter dan hasil pengukuran tersebut dicatat sekali untuk masing-masing rangkaian pengujian. Hasil pengukurannya dicatat pada halaman format data yang telah disiapkan, yang meliputi:
  - a) Temperatur udara
  - b) Timbang panci standar yang disediakan tanpa tutup dalam keadaan kering. Jika lebih dari satu panci yang digunakan, catat berat kering masing-masing panci. Jika beratnya berbeda, pastikan panci-panci tersebut tidak membingungkan jika pengujian berjalan. Jangan menggunakan tutup panci untuk hal ini, atau tahapan lainnya dari *Water Boiling Test* (WBT). Panci standar (yang disediakan bersama peralatan uji) harus digunakan jika memungkinkan. Jika tidak cocok dengan kompor, gunakan panci yang biasa digunakan dan catat dimensinya di dalam bagian pada lembar kerja data dan perhitungan.
  - c) Titik didih lokal ditentukan dengan menggunakan thermokopel digital dan sensor yang digunakan sama dengan yang digunakan di dalam pengujian.
7. Setelah parameter-parameter tersebut diukur dan dicatat serta bahan bakar juga telah dipersiapkan, maka lanjutkan dengan pengujian.

### **Tahapan 1: Start dingin**

Data yang dicatat di dalam tahapan pengujian yang tersisa harus dicatat pada halaman dua dalam format data dan perhitungan.

1. Siapkan stopwatch, dan dionkan pada saat api mulai menyala.

2. Isi setiap panci dengan 1 kg air bersih temperatur ruangan. Jumlah air harus ditentukan dengan meletakkan panci di atas timbangan dan menambahkan air hingga berat total panci dan air adalah 1,258 kg. Catat berat panci dan air di dalam lembar data dan perhitungan (menggunakan jumlah air yang sama pada setiap pengujian).
3. Dengan menggunakan alat penahan dari kayu, pasang termometer di dalam masing-masing panci agar temperatur air bisa diukur pada bagian tengahnya, 2 cm dari dasar panci. Mencatat temperatur awal air di dalam setiap panci dan pastikan temperatur tersebut tidak berubah terhadap temperatur sekeliling.
4. Kompor harus berada pada temperatur ruangan, dan membakar bahan bakar yang diawali dengan membakar penyulut serta mencatat semua bahan-bahan penyulut yang digunakan (misalnya kertas atau solar).
5. Tutup inlet bahan bakar dari reaktor sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna dalam reaktor, kemudian menunggu gas hasil pembakaran reaktor pada sungkup.
6. Menyalakan gas yang dipancarkan dari hasil pembakaran di ruang bakar pada sungkup dan mencatat waktu hingga pembakaran spontan tercapai.
7. Setelah api menyala, mencatat waktu start pada seluruh tahapan pengujian start dingin, mengontrol nyala api sampai air pada panci mendidih secara cepat.
8. Jika air di dalam panci telah mencapai temperatur didih lokal yang terbaca pada termometer digital, secara cepat melakukan hal berikut:



- a) Catat waktu dan suhu pada saat air di dalam panci pertama kali mencapai temperatur didih lokal.
- b) Setelah air mendidih dan apabila bahan bakar dalam reaktor belum habis, maka turunkan panci yang berisi air mendidih, kemudian biarkan sungkup menyala sampai bahan bakar dalam reaktor habis.
- c) Setelah semua bahan bakar telah habis dan tidak ada pembakaran gas yang diproduksi dalam reaktor, kemudian mencatat waktu pembakaran awal sampai tidak ada pembakaran gas yang diproduksi.
- d) Matikan sakelar kipas agar ampas/debu hasil pembakaran tidak keluar ke udara sekitar.
- e) Keluarkan sisa pembakaran kulit kopi dan mengukur berat atau volumenya. Kemudian mencatat hasil yang telah di peroleh ke dalam format pengambilan data yang telah disediakan.

### **Tahapan 2: Start Panas**

Setelah pengujian dingin selesai maka kita melanjutkan dengan pengujian panas. Pengujian panas yang dimaksud yaitu pengujian yang dilakukan saat reaktor atau ruang bakar masih dalam keadaan panas. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian panas ini sama dengan langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian dingin, hanya yang membedakan yaitu keadaan reaktor.

Setelah air dalam panci mencapai temperatur didihnya, maka kita melakukan pengukuran dengan cepat karena langkah ini sangat penting pada tahapan ini agar dapat mempertahankan temperatur air sedekat mungkin dengan

temperatur dididih sehingga memungkinkan untuk melanjutkan secara langsung ke pengujian berikutnya.

#### **3.5.4 Teknik Pengambilan Data**

Data-data yang diperoleh dari proses pengujian diolah dengan cara memperhatikan waktu yang dibutuhkan air untuk mendidih, dan berapa lama bahan bakar kulit kopi dapat digunakan untuk memasak.

##### **1. Waktu Mulai**

Waktu mulai adalah waktu yang diperlukan untuk menyalakan kulit kopi pada reaktor sehingga menghasilkan gas yang mudah terbakar pada sungkup. Parameter ini diukur dari waktu mulai membakar sobekan kertas sampai dihasilkan gas yang mudah terbakar pada sungkup.

##### **2. Waktu Operasi**

Waktu operasi adalah waktu yang dibutuhkan dari proses gasifier yang menghasilkan gas yang mudah terbakar pada sungkup sampai tidak ada lagi gas yang dihasilkan dari pembakaran kulit kopi pada reaktor.

##### **3. Total Waktu Operasi**

Total waktu operasi adalah durasi dari waktu awal kulit kopi dinyalakan sampai tidak ada lagi gas yang dihasilkan pada pembakaran di dalam kompor. Pada dasarnya, waktu tersebut adalah penjumlahan dari waktu mulai dan waktu operasi.

#### 4. Laju Konsumsi Bahan Bakar (FCR)

Laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar kulit kopi yang digunakan dalam pengoperasian kompor dibagi dengan waktu operasi. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Massa bahan bakar yang digunakan} = f_o - f_t \dots \dots \dots (7)$$

$$f_t = \frac{d_t - f_o \cdot k}{1 - k} \dots \dots \dots (8)$$

$$k = \frac{a \times f}{f_o} \dots \dots \dots (9)$$

$$k = \frac{(\text{massa kompor} + \text{arang}) - \text{massa kompor}}{(\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - \text{massa kompor}} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

$f_o$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar

$a_f$  = berat arang jika  $f_o$  habis terbakar

$d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat  $t$

$f_t$  = berat bahan bakar pada saat  $t$

$a_t$  = berat arang pada saat  $t$

$k$  = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis

$$\text{FCR} = \frac{\text{massa bahan bakar kulit kopi yang digunakan (kg)}}{\text{total waktu operasi (jam)}}$$

#### 5. Laju Gasifikasi Spesifik (SGR)

Laju gasifikasi spesifik adalah jumlah bahan bakar kulit kopi yang digunakan per satuan waktu per satuan luas reaktor. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{SGR} = \frac{\text{massa bahan bakar kulit kopi yang digunakan (kg)}}{\text{luas reaktor (m}^2\text{)} \times \text{total waktu operasi (jam)}} \dots\dots (11)$$

**6. Laju Zona Pembakaran (CZR)**

Laju zona pembakaran adalah waktu yang diperlukan oleh zona pembakaran yang bergerak ke bawah di dalam reaktor. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{CZR} = \frac{\text{tinggi reaktor (m)}}{\text{total waktu operasi (jam)}} \dots\dots\dots (12)$$

**7. Waktu Pendidihan**

Waktu pendidihan adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mendidih mulai dari waktu panci ditempatkan di atas sungkup sampai temperatur air mencapai 100°C.

**8. Panas Sensibel (SH)**

Panas sensibel adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air. Parameter ini diukur sebelum dan setelah air mencapai temperatur didih. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{SH} = m_a \times c_p \times (T_f - T_i)$$

dimana :

SH = panas sensibel (kJ)

$m_a$  = massa air (kg)

$c_p$  = panas spesifik air (kJ/kg°C)

$T_f$  = temperatur didih air (°C)

$T_i$  = temperatur awal air (°C)

### 9. Panas Laten (LH)

39

Panas laten adalah jumlah energi panas yang digunakan untuk menguapkan air. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$LH = m_g \times h_{fg}$$

dimana:

LH = panas laten (kJ)

$m_g$  = massa uap air (kg)

$h_{fg}$  = panas penguapan atau laten air (kJ/kg)

### 10. Input Energi Panas (QF)

Input energi panas adalah jumlah energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$QF = m_{bb} \times HHV \dots\dots\dots (13)$$

dimana :

QF = energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar (kJ)

$m_{bb}$  = massa bahan bakar yang digunakan di dalam kompor (kg)

HHV = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

### 11. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah rasio energi yang digunakan dalam mendidihkan dan menguapkan air terhadap energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar.

Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\eta_{Th} = \frac{SH + LH}{HHV \times m_{bb}} \times 100\%$$

dimana :

$\eta_{Th}$  = efisiensi termal (%) 40

SH = panas sensibel (kJ)

LH = panas laten (kJ)

HHV = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

$m_{bb}$  = massa bahan bakar yang digunakan (kg)

## 12. Daya Input

Daya input adalah jumlah energi yang disuplai ke kompor yang didasarkan pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P_i = \frac{FCR \times HHV}{3600 \text{ sec/jam}} \dots\dots\dots (14)$$

dimana :

$P_i$  = daya input (kW)

FCR = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

HHV = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

## 13. Daya Output

Daya output adalah jumlah energi yang dibebaskan kompor untuk memasak.

Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P_o = \frac{FCR \times HHV \times \eta_{Th}}{3600 \text{ sec/jam}} \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

$P_o$  = daya output (kW)

FCR = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

HHV = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg) 41

$\eta_{Th}$  = efisiensi termal (%)

#### 14. Persentase Arang yang Dihasilkan

Persentase arang yang dihasilkan adalah rasio dari jumlah arang yang dihasilkan terhadap jumlah kulit kopi yang digunakan. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ arang} = \frac{\text{massa arang (kg)}}{\text{massa kulit kopi yang digunakan (kg)}} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

#### 15. Konsumsi Spesifik (SC)

Konsumsi spesifik adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk membakar satu kilogram air sampai mendidih. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$SC = \frac{m_a}{\dot{m}} \dots\dots\dots (17)$$

$$\dot{m} = FCR \times t \text{ (untuk mendidihkan air)} \dots\dots\dots (18)$$

dimana :

SC = konsumsi spesifik

FCR = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$m_a$  = massa air yang dididihkan (kg)

$\dot{m}$  = laju alir bahan bakar (kg)(Muhammad Arif dan Mahlia Mahlan, 2009)

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

42

#### 4.1 Hasil

##### A. Hasil Rancang bangun

Setelah melaksanakan proses pembuatan, maka diperoleh bentuk kompor kulit kopi, sesuai pada Gambar 6 berikut:



**Gambar 6** Hasil rancang bangun kompor gas kulit kopi.

##### B. Hasil pengujian

Setelah melaksanakan proses pengujian maka dihasilkan nyala api yang berwarna kebiru-biruan, dalam pengujian ini digunakan kulit kopi sebagai bahan bakar. Untuk bahan bakar kulit kopi dilakukan 2 kali pengujian, yang mana

56

43



pengujian yang dilakukan adalah pengujian start dingindan pengujian start panas.

Data hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran A.

### C. Analisa hasil pengujian

Untuk menganalisa data hasil pengujian diatas, maka diambil sebagai contoh perhitungan data no 1 pada pengujian start dingin, yaitu :

- |                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| • Nomor pengujian             | : 1               |
| • Tanggal pengujian           | : 12 Oktober 2010 |
| • Jenis bahan bakar           | : kulit kopi      |
| • Nilai kalor bahan bakar     | : 19322,57 kJ/kg  |
| • Massa kompor                | : 37,024 kg       |
| • Massa kompor + bahan bakar  | : 38,524 kg       |
| • Massa kering panci          | : 0,258 kg        |
| • Massa panci + air           | : 1,258 kg        |
| • Temperatur awal air         | : 31°C            |
| • Temperatur udara sekeliling | : 31°C            |
| • Temperatur didih lokal      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan pada sungkup, naikkan panci dan air ke atas sungkup dan ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mulai : 16' 30"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mendidih : 25' 32"
- Massa air + panci : 1,086 kg
- Temperatur didih lokal : 100°C

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar.

Massa arang yang tersisa + massa kompor. : 37,154 kg

Waktu menghabiskan bahan bakar : 34'18"

Parameter – parameter yang diukur dan dihitung :

- ❖ Waktu mulai : 16 menit 30 detik = 0,275 jam
- ❖ Waktu operasi : 25 menit 32 detik = 0,426 jam
- ❖ Total waktu operasi : 34 menit 18 detik = 0,572 jam
- ❖ Laju konsumsi bahan bakar (FCR)

$$\text{FCR} = \frac{\text{massa bahan bakar kulit kopi yang digunakan (kg)}}{\text{total waktu operasi (jam)}}$$

Berdasarkan persamaan di atas maka diperoleh:

$$\begin{aligned} k &= \frac{(\text{massa kompor} + \text{arang}) - \text{massa kompor}}{(\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - \text{massa kompor}} \\ &= \frac{37154 \text{ gr} - 37024 \text{ gr}}{38524 \text{ gr} - 37024 \text{ gr}} \\ &= \frac{130 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \\ &= 0,087 \end{aligned}$$

dimana:

$f_0$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar

$a_f$  = berat arang jika  $f_0$  habis terbakar

$d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat t

$f_t$  = berat bahan bakar pada saat t

$a_t$  = berat arang pada saat t

k = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis (Lampiran E)

$$d_t = (\text{massa bahan bakar} + \text{massa kompor}) - (\text{massa arang} + \text{massa kompor})$$

$$d_t = 38524 \text{ gr} - 37154 \text{ gr} = 1370 \text{ gr}$$

$$f_o = (\text{massa bahan bakar} + \text{massa kompor}) - \text{massa kompor}$$

$$f_o = 38524 \text{ gr} - 37024 \text{ gr} = 1500 \text{ gr}$$

45

$$f_t = \frac{1370 \text{ gr} - 1500(0,087)}{1 - 0,087} = 1357,6 \text{ gr}$$

maka, massa bahan bakar yang digunakan adalah:

$$m_{bb} = f_o - f_t$$

$$m_{bb} = 1500 - 1357,6 = 142,4 \text{ gr}$$

$$\text{FCR} = \frac{0,142 \text{ kg}}{0,572 \text{ jam}} = 0,24 \text{ kg/jam}$$

❖ Laju gasifikasi spesifik (SGR)

$$\text{SGR} = \frac{\text{massa bahan bakar kulit kopi yang digunakan (kg)}}{\text{luas reaktor (m}^2\text{)} \times \text{total waktu operasi (jam)}}$$

$$h = \text{tinggi reaktor} = 65 \text{ cm} = 0,65 \text{ m}$$

$$D = \text{diameter reaktor} = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{luas reaktor} = \frac{3,14 \times D^2}{4} \times h$$

$$= \frac{3,14 \times 0,20 \text{ m}^2}{4} \times 0,65 \text{ m} = 0,021 \text{ m}^2$$

$$\text{jadi, SGR} = \frac{1,5 \text{ kg}}{0,021 \text{ m}^2 \times 0,572 \text{ jam}}$$

$$= 124,87 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}$$

❖ Laju zona pembakaran (CZR)

$$CZR = \frac{\text{tinggi reaktor (m)}}{\text{total waktu operasi (jam)}}$$

Tinggi reaktor = 0,65 m

$$CZR = \frac{0,65 \text{ m}}{0,572 \text{ jam}}$$

$$= 1,136 \text{ m/jam}$$

46

❖ Waktu pendidihan : 9 menit 02 detik = 0,151 jam

❖ Panas sensible (SH)

$$SH = m_a \times c_p \times (T_f - T_i)$$

$$m_a = (\text{massa panci} + \text{massa air}) - (\text{massa panci})$$

$$m_a = (1,258 \text{ kg}) - (0,258 \text{ kg})$$

$$= 1 \text{ kg}$$

$T_f$  = temperatur didih air = 100°C

$T_i$  = temperatur awal air = 31°C

$c_p$  air pada temperatur 100°C = 4,216 kJ/kg.°C (lampiran H)

$$SH = m_a \times c_p \times (T_f - T_i)$$

$$SH = 1 \text{ kg} \times 4,216 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times (100^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C})$$

$$= 290,904 \text{ kJ}$$

❖ Panas laten (LH)

$$LH = m_g \times h_{fg}$$

Dimana nilai  $h_{fg}$  diperoleh dari tabel uap (lampiran C) pada temperatur 100°C

adalah 2256,9 kJ/kg

$$m_g = (\text{massa panci} + \text{air}) - (\text{massa panci} + \text{air ketika mendidih})$$

$$= 1,258 \text{ kg} - 1,086 \text{ kg}$$

$$= 0,172 \text{ kg}$$

Maka,

$$LH = 0,172 \text{ kg} \times 2256,9 \text{ kJ/kg} = 388,18 \text{ kJ}$$

❖ Input energi panas (QF)

47

Dengan menggunakan penyulut bahan bakar solar maka didapatkan nilai

$$HHV = 18000 \text{ BTU/Lb (Lampiran H)}$$

$$= 18000 \text{ BTU/Lb} \times \frac{1 \text{ kJ/kg}}{0,42992 \text{ BTU/Lb}}$$

$$= 41868,25 \text{ kJ/kg}$$

$$m_s = 0,015 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi, } QF_{\text{penyulut}} = m_{\text{bb}} \times HHV$$

$$= 0,015 \text{ kg} \times 41868,25 \text{ kJ/kg}$$

$$= 628,02 \text{ kJ}$$

$$QF = m_{\text{bb}} \times HHV$$

$$m_{\text{bb}} = (\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - (\text{massa kompor})$$

$$= 38,524 \text{ kg} - 37,024 \text{ kg}$$

$$= 1,5 \text{ kg}$$

$$HHV = 19322,57 \text{ kJ/kg (penelitian pendahuluan literatur halaman 14)}$$

$$\text{Maka, } QF_{\text{bb}} = m_{\text{bb}} \times HHV$$

$$= 1,5 \text{ kg} \times 19322,57 \text{ kJ/kg}$$

$$= 28983,85 \text{ kJ}$$

$$\text{Jadi, } QF_{\text{total}} = QF_{\text{penyulut}} + QF_{\text{bb}}$$

$$= 628,02 \text{ kJ} + 28983,85 \text{ kJ}$$

$$= 29611,87 \text{ kJ}$$

❖ Efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ )

$$\eta_{Th} = \frac{SH + LH}{(HHV \times m_{bb}) + (QF_{penyulut})} \times 100\%$$

$$\eta_{Th} = \frac{290,904 \text{ kJ} + 388,18 \text{ kJ}}{(19322,57 \text{ kJ/kg} \times 1,5 \text{ kg}) + (628,02 \text{ kJ})} \times 100\%$$

$$= 2,29 \%$$

48

❖ Daya input ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{FCR \times HHV}{3600 \text{ sec/jam}}$$

$$P_i = \frac{0,24 \text{ kg/jam} \times 19322,57 \text{ kJ/kg}}{3600 \text{ sec/jam}}$$

$$= 1,29 \text{ kW}$$

❖ Daya output ( $P_o$ )

$$P_o = \frac{FCR \times HHV \times \eta_{Th}}{3600 \text{ sec/jam}}$$

$$P_o = \frac{0,24 \text{ kg/jam} \times 19322,57 \text{ kJ/kg} \times 0,0229}{3600 \text{ sec/jam}}$$

$$= 0,029 \text{ kW}$$

❖ Effisiensi sistem ( $\eta_s$ )

$$\eta_s = \frac{P_o}{P_i + P_{listrik}} \times 100\%$$

$$\eta_s = \frac{0,029 \text{ kW}}{1,29 \text{ kW} + 0,03 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$= 0,0219 = 2,19 \%$$

- ❖ Persentase arang yang dihasilkan (% arang)

$$\% \text{ arang} = \frac{\text{massa arang (kg)}}{\text{massa kulit kopi yang digunakan (kg)}} \times 100\%$$

$$\text{Massa arang} = (\text{massa kompor} + \text{bahan bakar setelah habis}) - (\text{massa kompor})$$

$$= 37,154 \text{ kg} - 37,024 \text{ kg} = 0,13 \text{ kg}$$

49

$$\% \text{ arang} = \frac{0,13 \text{ (kg)}}{1,5 \text{ (kg)}} \times 100\%$$

$$= 8,67\%$$

- ❖ Konsumsi spesifik (SC)

$$SC = \frac{m_a}{\dot{m}}$$

$$\dot{m} = FCR \times t \text{ (untuk mendidihkan air)}$$

$$m_a = \text{massa air} = 1 \text{ kg}$$

$$t \text{ (pendidihan)} = 9 \text{ menit } 02 \text{ detik} = 0,151 \text{ jam}$$

$$\text{maka, } \dot{m} = 0,24 \text{ kg/jam} \times 0,151 \text{ jam}$$

$$= 0,036 \text{ kg}$$

Jadi,

$$SC = \frac{1 \text{ kg}_{bm}}{0,036 \text{ kg}_{bb}}$$

$$= 27,78$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas, maka hasil analisa selanjutnya dapat dilihat pada lampiran B.

#### 4.2 Pembahasan

Pada prinsipnya kompor berbahan bakar kulit kopi sama dengan kompor – kompor yang telah dibuat sebelumnya, dimana kompor ini selain menggunakan bahan bakar kulit kopi juga dapat menggunakan beberapa jenis limbah pertanian sebagai bahan bakar seperti sekam padi dan tongkol jagung, akan tetapi pada pengujian ini bahan bakar yang digunakan hanya menggunakan kulit kopi yang telah dikeringkan. 50

Pada pengujian kompor dengan bahan bakar kulit kopi terlihat bahwa bahan bakar ini dapat menghasilkan gas dan nyala api yang berwarna hampir kebiru-biruan karena sangat dipengaruhi oleh tingkat kekeringan bahan bakar yang digunakan. Hal ini terlihat pada saat pengujian kompor gas dengan kondisi bahan bakar agak lembab, dimana pada waktu penyalaan gas yang keluar dari sungkup membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan kondisi bahan bakar yang kering baik pada saat dilakukan pengujian start dingin maupun pada saat pengujian start panas.

Dengan menggunakan bahan bakar kulit kopi, hasil analisa data pengujian start dingin terlihat : Nilai laju konsumsi bahan bakar kulit kopi (FCR) adalah 0,24 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) adalah 124,87 kg/m<sup>2</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) adalah 1,136 m/jam, panas sensible (SH) adalah 290,904 kJ, panas laten (LH) adalah 388,18 kJ, input energi panas (QF) adalah 29611,87 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ ) adalah 2,29 %, daya input ( $P_i$ ) adalah 1,29 kW, daya output ( $P_o$ ) adalah 0,029 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) adalah 2,19%, persentase arang yang dihasilkan (% arang) adalah 8,67%, konsumsi spesifik (SC) adalah 27,78. Dimana waktu mulai penyalaan gas 16 menit 30 detik dan total waktu operasi bahan bakar



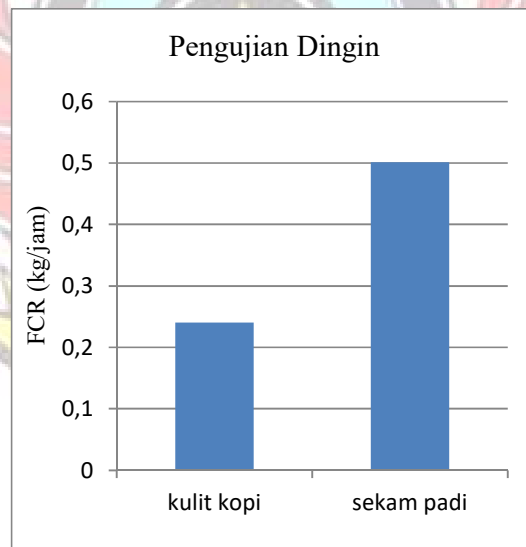
34 menit 18 detik. Sedangkan pada pengujian start panas terlihat : Nilai laju konsumsi bahan bakar kulit kopi (FCR) adalah 0,466 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) adalah 184,09 kg/m<sup>2</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) adalah 1,675 m/jam, panas sensible (SH) adalah 290,904 kJ, panas laten (LH) adalah 422,04 kJ, input energi panas (QF) adalah 29611,87 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ ) adalah 2,41 %, daya input ( $P_i$ ) adalah 2,51 kW, daya output ( $P_o$ ) adalah 0,060 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) adalah 2,36 %, persentase arang yang dihasilkan (% arang) adalah 10,8 %, konsumsi spesifik (SC) adalah 15,625. Dimana waktu mulai penyalaan gas 2 menit 12 detik dan total waktu operasi bahan bakar 23 menit 17 detik.

Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar sekam padi pada kompor yang sama, hasil analisa data pengujian start dingin terlihat : Nilai laju konsumsi bahan bakar sekam padi (FCR) adalah 0,501 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) adalah 126,98 kg/m<sup>2</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) adalah 1,156 m/jam, panas sensible (SH) adalah 295,12 kJ, panas laten (LH) adalah 406,242 kJ, input energi panas (QF) adalah 24488,22 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ ) adalah 2,86 %, daya input ( $P_i$ ) adalah 2,21 kW, daya output ( $P_o$ ) adalah 0,063 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) adalah 2,81 %, persentase arang yang dihasilkan (% arang) adalah 15,87 %, konsumsi spesifik (SC) adalah 13,51. Dimana waktu mulai penyalaan gas 14 menit 08 detik dan total waktu operasi bahan bakar 33 menit 45 detik. Sedangkan pada pengujian start panas terlihat : Nilai laju konsumsi bahan bakar sekam padi (FCR) adalah 0,661 kg/jam, laju gasifikasi spesifik (SGR) adalah 158,37 kg/m<sup>2</sup>.jam, laju zona pembakaran (CZR) adalah 1,441 m/jam, panas

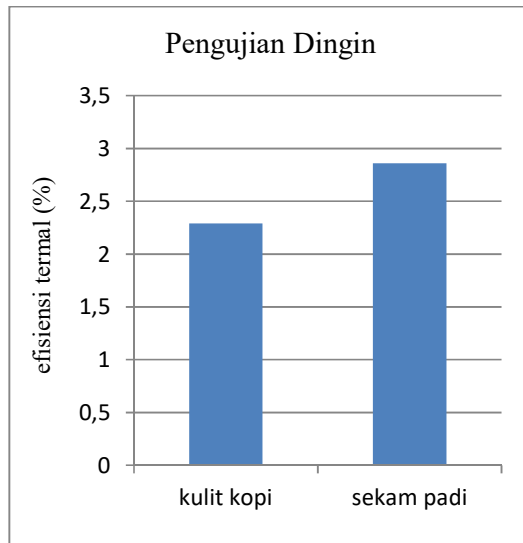
sensible (SH) adalah 295,12 kJ, panas laten (LH) adalah 376,902 kJ, input energi panas (QF) adalah 24488,22 kJ, efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) adalah 2,74 %, daya input ( $P_i$ ) adalah 2,92 kW, daya output ( $P_o$ ) adalah 0,080 kW, efisiensi sistem ( $\eta_s$ ) adalah 2,71 %, persentase arang yang dihasilkan (% arang) adalah 16,6 %, Konsumsi spesifik (SC) adalah 11,62. Dimana waktu mulai penyalaan gas 3 menit 51 detik dan total waktu operasi bahan bakar 27 menit 06 detik.

Berikut ini adalah grafik perbandingan dari kedua bahan bakar yang digunakan, yaitu :

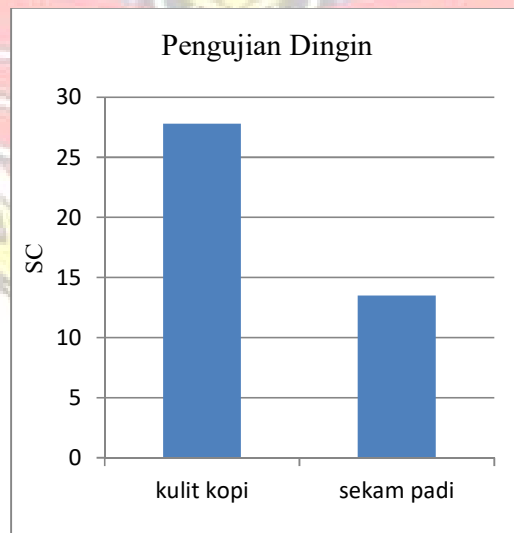
❖ *Start dingin*



**Gambar 7** Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar (FCR) (kg/jam) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin.

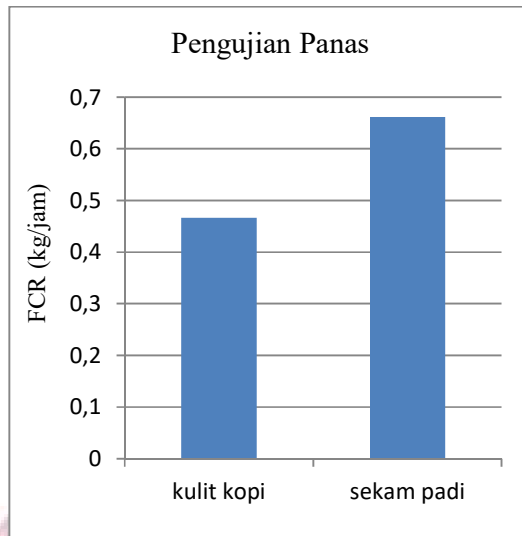


**Gambar 8** Grafik perbandingan efisiensi termal (%) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin.

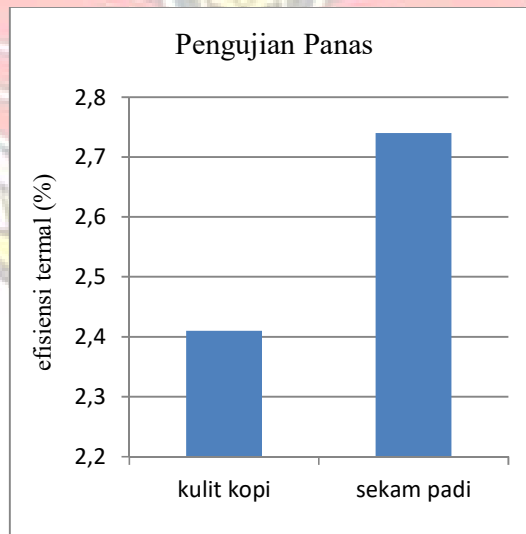


**Gambar 9** Grafik perbandingan konsumsi spesifik (SC) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start dingin.

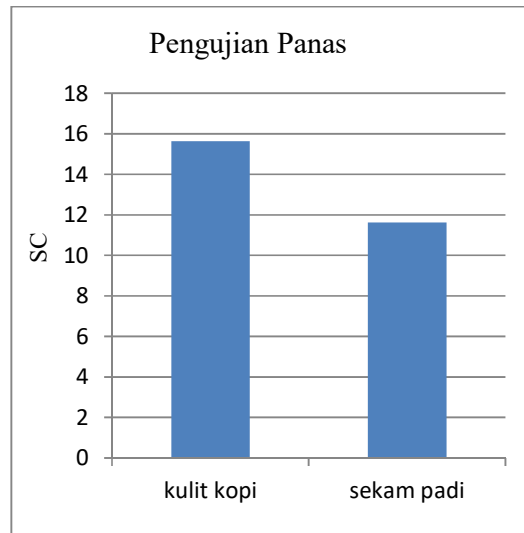
❖ *Start panas*



**Gambar 10** Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar (FCR) (kg/jam) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas.



**Gambar 11** Grafik perbandingan efisiensi termal (%) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas.



**Gambar 12** Grafik perbandingan konsumsi spesifik (SC) kompor antara kulit kopi dan sekam padi pada pengujian start panas.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa nilai FCR dari kulit kopi sebesar 0,24 kg/jam dan nilai FCR dari sekam padi sebesar 0,501 kg/jam. Ini berarti laju konsumsi bahan bakar kulit kopi lebih kecil daripada sekam padi, ini dikarenakan bahan bakar kulit kopi terlihat lebih padat bila dimasukkan ke dalam reaktor, sedangkan bahan bakar sekam padi terlihat lebih renggang yang mengakibatkan udara yang dihasilkan fan sebagai udara primer lebih cepat bertiup ke ruang bakar sehingga laju konsumsi bahan bakar akan lebih besar. Pada Gambar 10 untuk pengujian start panas yang menunjukkan laju konsumsi bahan bakar sekam padi terlihat lebih besar yaitu sebesar 2,81 kg/jam sedangkan laju konsumsi bahan bakar kulit kopi hanya 2,45 kg/jam. Jika melihat nilai FCR pada pengujian start panas jauh lebih besar daripada pengujian start dingin. Dengan kata lain kompor tersebut lebih efisien digunakan dalam keadaan panas.

Berdasarkan Gambar 8 yaitu grafik yang menunjukkan nilai efisiensi thermal ( $\eta_{TH}$ ) kulit kopi sebesar 2,29 % dan nilai efisiensi thermal ( $\eta_{TH}$ ) sekam padi 2,86 %. Ini berarti efisiensi thermal yang dihasilkan sekam padi lebih besar dibandingkan kulit kopi, ini dikarenakan pada saat pengujian, bahan bakar yang kulit kopi yang digunakan mempunyai kelembapan yang lebih besar dari bahan bakar sekam padi. Sama dengan pada pengujian start panas dalam Gambar 11 terlihat bahwa nilai efisiensi termal sekam padi sebesar 2,74 % sedangkan nilai efisiensi termal dari kulit kopi sebesar 2,41 %, ini berarti efisiensi termal bahan bakar sekam padi lebih besar dari efisiensi termal bahan bakar kulit kopi.

Pada Gambar 9 yaitu grafik menunjukkan nilai konsumsi spesifik (SC) dari kulit kopi sebesar 27,78 sedangkan nilai konsumsi spesifik (SC) sekam padi sebesar 13,51, ini berarti nilai konsumsi spesifik (SC) dari kulit kopi lebih besar dari sekam padi. Oleh karena itu penggunaan bahan bakar kulit kopi sangat baik karena dengan menggunakan sedikit bahan bakar maka akan dihasilkan output bahan makanan yang dimasak dalam jumlah besar. Begitu pula pada pengujian panas yang terlihat pada Gambar 12 menunjukkan nilai konsumsi spesifik (SC) dari kulit kopi sebesar 15,625 sedangkan nilai konsumsi spesifik (SC) sekam padi sebesar 11,62, hal ini menunjukkan nilai konsumsi spesifik (SC) dari bahan bakar kulit kopi lebih besar dari nilai konsumsi spesifik (SC) dari bahan bakar sekam padi. Hal ini menunjukkan bahwa kulit kopi baik digunakan sebagai bahan bakar baik dalam pengujian dingin maupun dalam pengujian panas.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

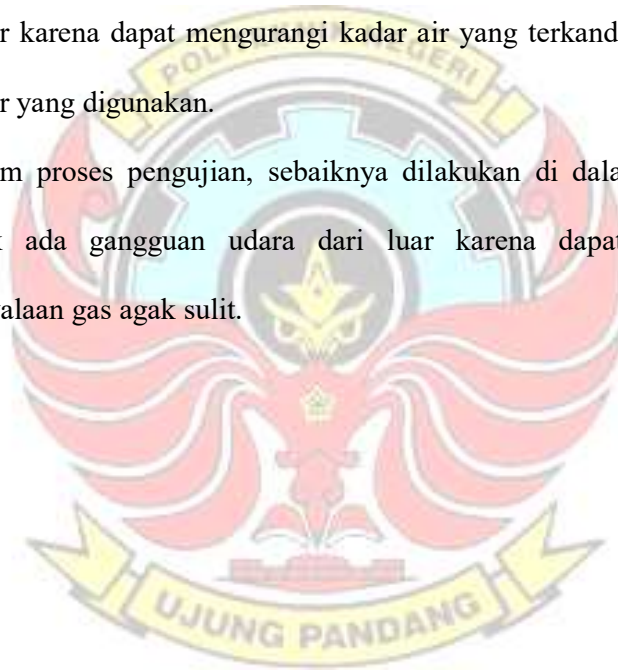
#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada tujuan yang ingin dicapai pada proyek akhir ini maka kami dapat menyimpulkan sebagai berikut :

1. Limbah pertanian yang berupa kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar energi alternatif dan dapat digunakan pada rumah tangga.
2. Pembuatan kompor gas berbahan bakar kulit kopi yang efektif dan efisien sehingga dapat membantu masyarakat untuk mengurangi besarnya biaya pemakaian bahan bakar fosil yang harganya cenderung semakin tinggi.
3. Limbah kulit kopi apabila dibakar dapat menghasilkan gasifikasi yang mana apabila dibakar dapat menghasilkan nyala api yang hampir kebiru-biruan. Pada pengujian start dingin dihasilkan efisiensi termal sebesar 2,29 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,24 kg/jam, dan konsumsi spesifik sebesar 27,78, sedangkan pada pengujian start panas dihasilkan efisiensi termal sebesar 2,41 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,466 kg/jam, dan konsumsi spesifik sebesar 15,625. Kemudian apabila menggunakan bahan bakar sekam padi pada pengujian start dingin dihasilkan efisiensi termal sebesar 2,86 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,501 kg/jam, dan konsumsi spesifik sebesar 13,51, sedangkan pada pengujian start panas dihasilkan efisiensi termal sebesar 2,74 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,661 kg/jam, dan konsumsi spesifik sebesar 11,62.

## 5.2 Saran

1. Dalam pembuatan kompor gas berbahan bakar kulit kopi berikutnya untuk pengembangan sebaiknya jangan menggunakan burner sebagai tempat keluarnya gas hasil pembakaran dan diameter pipa aliran gas dibuat lebih kecil agar dapat mengurangi rugi-rugi energi.
2. Untuk memperoleh hasil yang maksimal maka dalam pemanfaatan bahan bakar kulit kopi sebaiknya lebih memperhatikan faktor kekeringan bahan bakar karena dapat mengurangi kadar air yang terkandung dalam bahan bakar yang digunakan.
3. Dalam proses pengujian, sebaiknya dilakukan di dalam ruangan yang tidak ada gangguan udara dari luar karena dapat mengakibatkan penyalan gas agak sulit.





## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2010a). Coffea, <http://en.wikipedia.org/wiki/Coffea>, diunduh pada 25 Juni 2010.
- Anonim (2010b). Coffe Bean, [http://en.wikipedia.org/wiki/Coffe\\_bean](http://en.wikipedia.org/wiki/Coffe_bean), diunduh pada 25 Juni 2010.
- Anonim (2010). Limbah Kopi Diolah Menjadi Bahan Bakar, [http://www.technologyindonesia.com/news.php?page\\_mode=detail&id=424.html](http://www.technologyindonesia.com/news.php?page_mode=detail&id=424.html), diunduh pada 29 Juni 2010.
- Arif, Muhammad dan Mahlan, Mahlia, (2009), *Rancang bangun Kompor Gas Berbahan Bakar Jerami*, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makassar.
- Badan Standardisasi Nasional (2008). Biji Kopi. SNI No. 01-2907-2008.
- Budiman, Anton dan Priambodo, Bambang. (1999). *Elemen Mesin Jilid 1*. PT. Erlangga : Jakarta.
- Belonio, A. T. (2005, May). *Gas Stove Handbook*. College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City. Pilipina, Asia
- Baon, J. B., Sukasih, R., Nurkholis (2005). Laju Dekomposisi dan Kualitas Kompos Limbah Padat Kopi: Pengaruh Aktivator dan Bahan Baku Kompos. Pelita Perkebunan. Universitas Negeri Jember.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (2006). Statistik Perkebunan Indonesia 2003–2005 (Kopi). Departemen Pertanian. Jakarta.
- Husada, T. I. (2008). Arang Briket Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif. Artikel Ilmiah Program Penelitian Inovasi Mahasiswa Propinsi Jawa Tengah.
- Isroi, Mahajoeno, E. (2005). Energi Alternatif Pengganti BBM : Potensi Limbah Biomassa Sawit Sebagai Energi Terbarukan, [http://www.ipard.com/art\\_perkebun/apr11-05\\_isr+edw.asp](http://www.ipard.com/art_perkebun/apr11-05_isr+edw.asp), diunduh pada 29 Juni 2010.
- Melyani, V. (2009). Petani Kopi Indonesia Sulit Kalahkan Brasil, <http://www.tempointeraktif.com/hg/bisnis/2009/07/02/brk.20090702-184943.id.html>, diunduh pada 29 Juni 2010.
- Subroto (2007). Karakteristik Pembakaran Briket Campuran Arang Kayu dan Jerami, Media Mesin VIII, Januari. Jurusan Teknik Mesin - Universitas Muhammadiyah. Surakarta.
- Saenger, M., Hartge, M. U., Werther, J., Ogada, T., Siagi, Z. (2001). *Combustion of Coffe Husk*. Journal of Renewable Energy, XXIII, pp. 103–121.

[www.pdf-search-engine.com](http://www.pdf-search-engine.com), *Penelitian Tentang Kulit Kopi*, diunduh pada 30 Juni 2010.



**L  
A  
M  
P  
I  
R  
A  
N**





# **LAMPIRAN - A**

## **(DATA PENGAMATAN)**

## Lapimran .A-1

### Pengujian Mendidihkan Air

(Start Dingin)

- Nomor pengujian : 1
- Tanggal pengujian : 12 Oktober 2010
- Jenis bahan bakar : kulit kopi
- Nilai kalor bahan bakar : 19322,57 kJ/kg
- Massa kompor : 37,024 kg
- Massa kompor + bahan bakar : 38,524 kg
- Massa kering panci : 0,258 kg
- Massa panci + air : 1,258 kg
- Temperatur awal air : 31°C
- Temperatur udara sekeliling : 31°C
- Temperatur didih lokal : 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan pada sungkup, naikkan panci dan air ke atas sungkup dan ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mulai : 16' 30"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mendidih : 25' 32"
- Massa air + panci : 1,194 kg
- Temperatur didih lokal : 100°C

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar.

Massa arang yang tersisa + massa kompor. : 37,154 kg

Waktu menghabiskan bahan bakar : 34'18"

Sumber : Hasil pengujian

## Lampiran. A-2

### Pengujian Mendidihkan Air

(Start Panas)

- Nomor pengujian : 2
- Tanggal pengujian : 12 Oktober 2010
- Jenis bahan bakar : kulit kopi
- Nilai kalor bahan bakar : 19322,57 kJ/kg
- Massa kompor : 37,024 kg
- Massa kompor + bahan bakar : 38,524 kg
- Massa kering panci : 0,258 kg
- Massa panci + air : 1,258 kg
- Temperatur awal air : 31°C
- Temperatur udara sekeliling : 31°C
- Temperatur didih lokal : 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan pada sungkup, naikkan panci dan air ke atas sungkup dan ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mulai : 02' 12"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mendidih : 10' 32"
- Massa air + panci : 1,071 kg
- Temperatur didih lokal : 100°C

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar.

Massa arang yang tersisa + massa kompor. : 37,186 kg

Waktu menghabiskan bahan bakar : 23' 17"

Sumber : Hasil pengujian

### Lampiran. A-3

#### Pengujian Mendidihkan Air

(Start Dingin)

- Nomor pengujian : 3
- Tanggal pengujian : 13 Oktober 2010
- Jenis bahan bakar : sekam padi
- Nilai kalor bahan bakar : 15906,8 kJ/kg
- Massa kompor : 37,024 kg
- Massa kompor + bahan bakar : 38,524 kg
- Massa kering panci : 0,258 kg
- Massa panci + air : 1,258 kg
- Temperatur awal air : 30°C
- Temperatur udara sekeliling : 31°C
- Temperatur didih lokal : 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan pada sungkup, naikkan panci dan air ke atas sungkup dan ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mulai : 14' 08"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mendidih : 23' 05"
- Massa air + panci : 1,078 kg
- Temperatur didih lokal : 100°C

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar.

Massa arang yang tersisa + massa kompor. : 37,262 kg

Waktu menghabiskan bahan bakar : 33'45"

Sumber : Hasil pengujian

#### Lampiran. A-4

#### Pengujian Mendidihkan Air

(Start Panas)

- Nomor pengujian : 4
- Tanggal pengujian : 13 Oktober 2010
- Jenis bahan bakar : sekam padi
- Nilai kalor bahan bakar : 15906,8 kJ/kg
- Massa kompor : 37,024 kg
- Massa kompor + bahan bakar : 38,524 kg
- Massa kering panci : 0,258 kg
- Massa panci + air : 1,258 kg
- Temperatur awal air : 30°C
- Temperatur udara sekeliling : 31°C
- Temperatur didih lokal : 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan pada sungkup, naikkan panci dan air ke atas sungkup dan ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mulai : 03' 51"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- Waktu mendidih : 11' 39"
- Massa air + panci : 1,091 kg
- Temperatur didih lokal : 100°C

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar.

Massa arang yang tersisa + massa kompor. : 37,273 kg

Waktu menghabiskan bahan bakar : 27'06"

Sumber : Hasil pengujian





**LAMPIRAN - B**  
**(HASIL ANALISA DATA)**

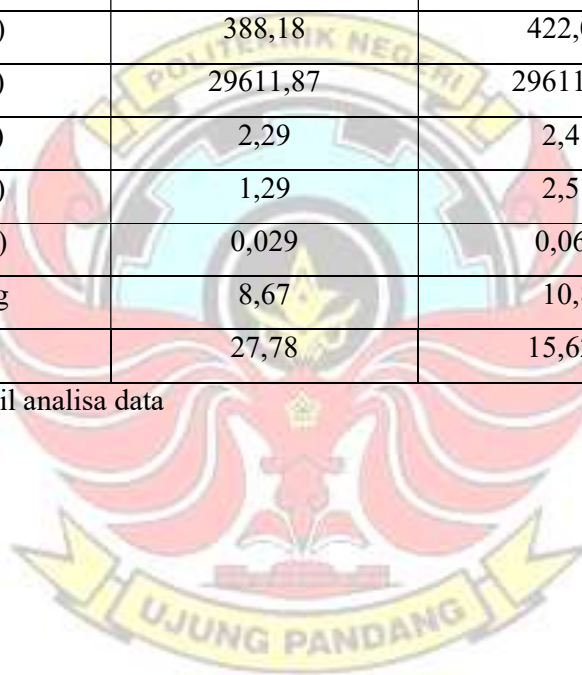
The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is circular, featuring a central gear and a stylized figure. The text 'POLITEKNIK NEGERI' is at the top and 'UJUNG PANDANG' is at the bottom.

## Lampiran B

**Tabel 3. Hasil analisa data percobaan bahan bakar kulit kopi.**

parameter	Jenis pengujian bahan bakar kulit kopi	
	start dingin	start panas
FCR (kg/jam)	0,24	0,466
SGR (kg/m <sup>3</sup> .jam)	124,87	184,09
CZR(m/jam)	1,136	1,675
SH (kJ)	290,904	290,904
LH (kJ)	388,18	422,04
QF (kJ)	29611,87	29611,87
$\eta_{Th}$ (%)	2,29	2,41
P <sub>i</sub> (kW)	1,29	2,51
P <sub>o</sub> (kW)	0,029	0,060
% arang	8,67	10,8
SC	27,78	15,625

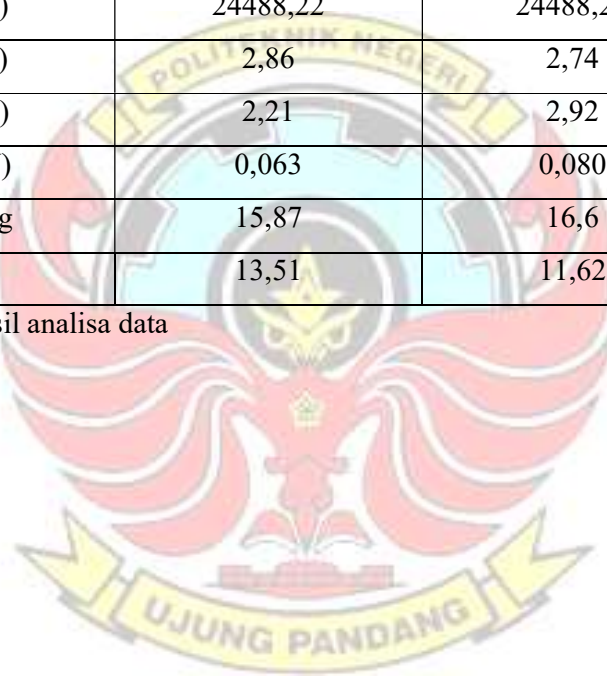
Sumber : Hasil analisa data



**Tabel 4. Hasil analisa data percobaan bahan bakar sekam padi.**

parameter	Jenis pengujian bahan bakar sekam padi	
	start dingin	start panas
FCR (kg/jam)	0,501	0,661
SGR (kg/m <sup>3</sup> .jam)	126,98	158,37
CZR(m/jam)	1,156	1,441
SH (kJ)	295,12	295,12
LH (kJ)	406,242	376,902
QF (kJ)	24488,22	24488,22
$\eta_{th}$ (%)	2,86	2,74
P <sub>i</sub> (kW)	2,21	2,92
P <sub>o</sub> (kW)	0,063	0,080
% arang	15,87	16,6
SC	13,51	11,62

Sumber : Hasil analisa data





# **LAMPIRAN - C (SIFAT UAP)**

## Lampiran C

**Tabel 5. Sifat uap.**

Temp (°C)	Press bars	specific enthalpy (kJ/kg)			specific entropy kJ/kg.°C		Specific Volume (dm <sup>3</sup> /kg)	
		Sat. Liquid H <sub>f</sub>	Evap h <sub>fg</sub>	Sat. vapor h <sub>g</sub>	Sat. Liquid S <sub>f</sub>	Sat. vapor S <sub>g</sub>	Sat. Liquid V <sub>f</sub>	Sat. vapor V <sub>g</sub>
95	0,8453	398,0	2770,2	2668,1	1,2501	7,4166	1,0398	1982,2
96	0,8769	402,2	2267,2	2668,9	1,2615	7,4042	1,0406	1915,3
97	0,9094	406,4	2264,9	2669,7	1,2729	7,3919	1,014	1851,0
98	0,9430	410,6	2262,2	2672,9	1,2842	7,3796	1,0421	1789,3
99	0,9776	414,8	2259,6	2674,4	1,2956	7,3675	1,0429	1730,0
100	1,013	419,1	2256,9	2676,0	1,3069	7,3554	1,0437	1673,0

Sumber : Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat Pendidikan Dan Pelatihan





**LAMPIRAN - D**  
**(Analisa Bahan Bakar)**

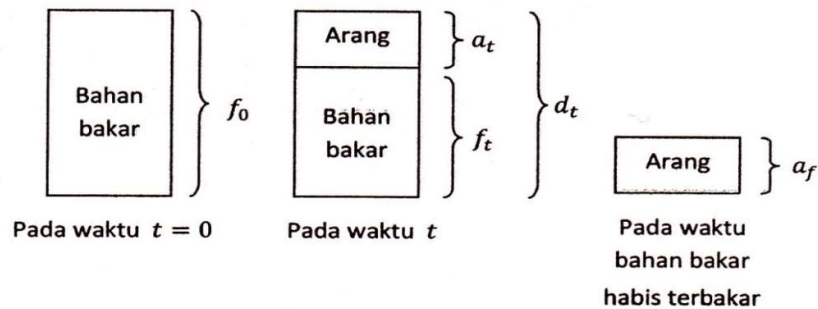
## Lampiran D

### Persamaan untuk menghitung bahan bakar yang tersisa selama pembakaran (sumber : Faxälv, Olle, dan Nyström, Olof: 2007)

#### Variabel-variabel

- $f_0$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar  
 $a_f$  = berat arang jika  $f_0$  habis terbakar  
 $d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat  $t$   
 $f_t$  = berat bahan bakar pada saat  $t$   
 $a_t$  = berat arang pada saat  $t$   
 $k$  = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis

$f_t$  tidak diketahui dan ingin diekspresikan di dalam variabel-variabel yang diketahui  $f_0, d_t, k$ .



#### Hubungan-hubungan nyata

$$\begin{aligned}a_f &= f_0 \cdot k \\a_f &= f_t \cdot k + a_t \\d_t &= a_t + f_t\end{aligned}$$

#### Cara mendapatkan persamaan

$$f_t \cdot k + a_t = a_f \quad \left\{ \begin{array}{l} a_f = f_0 \cdot k \\ a_t = d_t - f_t \end{array} \right.$$

$$f_t \cdot k + d_t - f_t = f_0 \cdot k$$

$$f_t \cdot (k - 1) = f_0 \cdot k - d_t$$

Jadi, massa bahan bakar yang tersisa pada waktu  $t$  adalah,

$$f_t = \frac{d_t - f_0 \cdot k}{1 - k}$$



# **LAMPIRAN - E**

## **(Foto-Foto Alat)**





**Gambar 13** kegiatan pembuatan sungkup kompor.



**Gambar 14** kegiatan mengecat kompor.



**Gambar 15** model sungkup pada kompor.



**Gambar 16** kegiatan mengukur berat bahan bakar kulit kopi.



**Gambar 17** kegiatan penyalan awal bahan bakar dalam reaktor.



**Gambar 18** bahan bakar dalam reaktor sudah mulai terbakar.



**Gambar 19** gas hasil pembakaran.



**Gambar 20** proses penyalaan awal kompor.



**Gambar 21** nyala awal kompor kulit kopi.



**Gambar 22** kegiatan mengukur berat air.



**Gambar 23** kegiatan mengukur temperatur awal air.



**Gambar 24** panci dinaikkan ke atas kompor.



**Gambar 25** proses mendidihkan air.



**Gambar 26** seorang mahasiswa memeriksa kondisi air yang dipanaskan.



**Gambar 27** kondisi air yang dipanaskan.



**Gambar 28** fan yang digunakan.



**Gambar 29** arang aktif sisa pembakaran kulit kopi.



# **LAMPIRAN - F**

## **(WATER BOLLING TEST)**

# Pengujian Mendidihkan Air (*The Water Boiling Test, WBT*)

Prepared by Rob Bailis, Damon Ogle, Nordica MacCarty, and Dean Still with input from Kirk R. Smith and Rufus Edwards – for the Household Energy and Health Programme, Shell Foundation

## Pendahuluan

Versi modifikasi pengujian mendidihkan air yang telah dikenal adalah simulasi kasar dari proses memasak yang bermaksud membantu perancang kompor memahami sebaik apa energi yang dipindahkan dari bahan bakar ke panci memasak, yang dapat dilakukan pada kebanyakan kompor di seluruh dunia. Pengujian tersebut tidak bermaksud menggantikan bentuk-bentuk pengkajian kompor lainnya, akan tetapi hal itu dirancang sebagai metode sederhana yang dengannya kompor yang dibuat pada tempat-tempat berbeda dan penerapan memasak yang berbeda dapat dibandingkan melalui pengujian yang terstandarisasi dan dapat ditiru.

Adalah penting untuk memahami kekuatan dan kelemahan dari WBT. Kekuatan yang tercakup di dalam WBT adalah kemudahan dan mudah ditiru. Di samping itu, memberikan pemahaman awal dari performansi kompor, yang sangat membantu selama proses desain. Data yang diperoleh dari pengujian yang hanya beberapa hari akan membantu dalam mengembangkan kompor yang lebih baik, yang kemudian diuji dengan memasak di dalam lingkungan di mana kompor tersebut digunakan. Visser (2003) memperlihatkan bahwa melalui penentuan efisiensi termal pada daya tinggi dan rendah, sebagaimana yang dilakukan di dalam versi WBT ini, bahan bakar yang digunakan dapat diprediksi secara kasar untuk berbagai tugas memasak.

Akan tetapi, WBT juga memiliki kelemahan. Agar dapat diterapkan pada beberapa jenis kompor berbeda, WBT hanyalah pendekatan kasar dari memasak yang sebenarnya, yang dilakukan di dalam kondisi yang dikontrol oleh teknisi terlatih. Oleh sebab itu, pengujian tersebut tidak memberikan banyak informasi tentang bagaimana performansi kompor jika memasak bahan makanan nyata. Untuk memahami bagaimana performansi kompor memasak bahan makanan yang dimasak oleh orang-orang setempat, si penguji kompor harus menggunakan Pengujian Memasak Terkontrol (*Controlled Cooking Test, CCT*) yang dilakukan bersamaan dengan pengujian ini. Demikian pula, WBT tidak dapat digunakan untuk memprediksi secara akurat perubahan aktual konsumsi bahan bakar di antara keluarga yang menggunakan kompor yang telah diperbaiki. Pengujian Performansi Dapur (*Kitchen Performance Test, KPT*), yang membandingkan konsumsi bahan bakar di dalam rumah tangga dengan menggunakan kompor yang telah diperbaiki dengan rumah tangga yang menggunakan kompor tradisional, yang harus dilakukan sebelum menarik kesimpulan tentang perubahan konsumsi bahan bakar di antara pengguna nyata kompor. KPT juga dikembangkan untuk digunakan bersama dengan CCT dan WBT. Pembahasan lebih lanjut dari WBT dan variasi-variasi yang digunakan di Cina dan India ditemukan di dalam Lampiran 1.



- 1) Dalam tahapan yang pertama, pengujian daya tinggi start dingin, si penguji memulai dengan kompor pada temperatur ruangan dan menggunakan seikat kayu yang telah ditimbang sebelumnya atau bahan bakar<sup>1</sup> lainnya untuk mendidihkan air dengan jumlah terukur di dalam panci standar. Si penguji kemudian mengganti air yang dididihkan dengan satu panci air dingin segar untuk melakukan pengujian tahapan kedua.
- 2) Tahapan yang kedua, pengujian daya tinggi start panas, yang langsung menyusul setelah pengujian pertama dengan kompor masih dalam keadaan panas. Kembali lagi, si penguji menggunakan seikat bahan bakar yang telah ditimbang lebih dahulu untuk mendidihkan air dengan jumlah terukur di dalam panci standar. Dengan mengulang pengujian dengan kompor dalam keadaan panas akan membantu mengidentifikasi perbedaan performansi di antara kompor jika kompor dalam keadaan dingin dan panas.
- 3) Tahapan yang ketiga langsung menyusul dari tahapan yang kedua. Dalam tahapan ini, si penguji menentukan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk mendidihkan secara perlahan (*simmer*) air dengan jumlah terukur sedikit di bawah mendidih selama 45 menit. Langkah ini menyimulasi memasak kacang-kacangan yang umumnya membutuhkan waktu yang lama di seluruh dunia.

Gabungan dari pengujian ini mengukur beberapa aspek dari performansi kompor pada output daya tinggi dan rendah, yang dihubungkan dengan kemampuan kompor menghemat bahan bakar. Akan tetapi, dibanding hanya melaporkan satu angka yang menunjukkan efisiensi termal kompor, yang bukan menjadi satu-satunya *prediktor* yang baik dari performansi<sup>2</sup> kompor, pengujian ini didesain untuk menghasilkan beberapa output kuantitatif. Perancang kompor lainnya bisa mendapatkan output berbeda lebih atau kurang berguna bergantung pada konteks program kompornya. Outputnya adalah:

- Waktu mendidih (d disesuaikan dengan temperatur mulai)
- Laju pembakaran (d disesuaikan dengan temperatur mulai)
- Daya api
- Rasio *turn-down* (rasio dari output daya tinggi terhadap output daya rendah)
- Efisiensi termal

Untuk informasi lebih lanjut dari masing-masing indikator, lihat Lampiran 2, yang mendefinisikan masing-masing ukuran dan menjelaskan bagaimana menghitungnya.

## Sebelum Memulai Pengujian

Lima langkah berikut harus diselesaikan sebelum memulai pengujian yang sebenarnya.

1. Pastikan bahwa terdapat cukup air dan bahan bakar. Jika mungkin, cobalah mendapatkan semua kayu dari sumber yang sama. Kayu tersebut harus keringnya baik dan berukuran seragam. Jika digunakan penyulut untuk memulai api, bahan penyulutnya juga sudah dipersiapkan sebelumnya dan diikuti di dalam ikatan bahan bakar yang telah ditimbang lebih dahulu.
2. Lakukan sedikitnya satu pengujian latihan pada masing-masing jenis kompor agar lebih mengenal prosedur pengujian dan karakteristik kompor. Hal ini juga memberikan petunjuk berapa banyak

---

<sup>1</sup> Pengujian ini awalnya didesain untuk tungku kayu, tetapi diambil untuk menyesuaikan dengan jenis kompor dan bahan bakar lainnya. Lihat Lampiran 3 untuk pembahasan penggunaan bahan bakar yang bukan kayu.

<sup>2</sup> Perhitungan langsung dari efisiensi termal yang diturunkan dari Pengujian mendidihkan air bukanlah indikator yang baik dari performansi kompor karena pengujian tersebut menghasilkan produksi uap lebih. Dalam kondisi memasak normal, produksi uap lebih membuang energi karena mewakili energi yang tidak dipindahkan ke bahan makanan. Temperatur di dalam panci memasak tidak melebihi titik didih air dengan mengabaikan berapapun uap yang dihasilkan. Jadi, kecuali jika uap diperlukan untuk proses memasak—misalnya mengukus sayuran[1], produksi uap lebih tidak boleh digunakan untuk menaikkan indikator performansi kompor.

bahan bakar yang diperlukan untuk mendidihkan jumlah air yang diperlukan. Sebagai petunjuk kasar, dapatkanlah sedikitnya 15 kg bahan bakar yang keringnya baik untuk masing-masing kompor untuk meyakinkan bahwa terdapat cukup bahan bakar untuk menguji masing-masing kompor tiga kali. Kompor dengan multi panci berukuran besar yang mungkin diperlukan lebih dari 15 kg.

3. Pengujian latihan juga harus digunakan untuk menentukan titik didih lokal air. Titik didih lokal air adalah titik ketika temperaturnya tidak lagi naik, berapapun banyaknya panas yang diberikan. Hal ini ditentukan melalui prosedur berikut:
  - Pilihlah apakah menggunakan panci standar berukuran besar atau kecil. Ukuran 5 liter air untuk panci standar berukuran besar (atau 2,5 liter untuk panci standar berukuran kecil). Didihkan air tersebut. Pastikan output daya kompor tinggi, dan air mendidih sepenuhnya.
  - Gunakan termometer yang sama dengan yang digunakan untuk pengujian, ukur temperatur mendidih jika termometer diposisikan di tengah, 5 cm di atas dasar panci. Anda akan menemukan bahwa sekalipun pada mendidih penuh, jika temperatur tidak lagi bertambah, air akan tetap beresilasi beberapa kali pada derajat di atas dan di bawah titik mendidih sebenarnya
  - Si penguji harus mencatat temperaturnya selama periode lima menit pada mendidih penuh dan mencatat temperatur maksimum dan minimum yang diamati selama periode ini. Temperatur minimum dan maksimum kemudian harus dirata-ratakan dan hasilnya dicatat sebagai "temperatur mendidih lokal" pada format data dan perhitungan (ini hanya perlu dilakukan sekali untuk lokasi pengujian Anda – lihat catatan 2).
4. Satu WBT lengkap memerlukan sedikitnya 10 liter air dingin untuk masing-masing panci yang digunakan. Jika air sulit di daerah anda, air yang telah digunakan satu hari bisa didinginkan dan digunakan kembali pada hari pengujian berikutnya. Tetapi jangan lakukan pengujian apapun terhadap air yang temperaturnya berada di atas temperatur ruangan.
5. Pastikan bahwa terdapat cukup ruangan dan cukup waktu untuk melakukan pengujian tanpa gangguan. Pengujian harus dilakukan di dalam ruangan yang terlindung dari angin, tetapi dengan ventilasi yang cukup untuk membuang emisi kompor yang berbahaya. Membutuhkan 1½ – 2 jam untuk melakukan pengujian daya tinggi dan rendah untuk masing-masing kompor. Anda akan menghemat waktu jika mempersiapkan cukup ikat bahan bakar untuk melakukan beberapa pengujian sebelum memulai pengujian yang pertama.

## Awal Prosedur Pengujian

### Peralatan yang digunakan untuk Pengujian mendidihkan air:

- Timbangan dengan kapasitas sedikitnya 6 kg, akurasi sebesar  $\pm 1$  gram
- Alas tahan panas untuk melindungi timbangan
- Termometer digital, akurat sampai 1/10 derajat, dengan *probe* yang dapat direndam di dalam cairan
- Sekop/sudip berukuran kecil untuk mengeluarkan arang dari kompor
- Meteran *moisture* kayu (opsional)
- Tang/jepitan untuk memindahkan arang
- *Timer*
- Wadah abu untuk memindahkan arang
- Panci standar (lihat catatan 1)
- Baki logam untuk meletakkan arang untuk ditimbang

- Alat penahan dari kayu untuk menahan *probe* termokopel di dalam air (lihat diagram di dalam Lampiran 4)
- Sarung tangan yang tahan panas
- Sedikitnya 10 liter air bersih untuk setiap WBT (di lokasi yang sulit air, air dapat didinginkan dan digunakan kembali untuk pengujian selanjutnya).
- 2 ikat bahan bakar kayu yang keringnya baik beratnya antara 1 dan 2 kg untuk masing-masing pengujian (setiap kompor diuji tiga kali). Lebih banyak bahan bakar dibutuhkan untuk jumlah kompor yang lebih banyak.

### **Langkah-langkah awal: dilakukan sekali untuk setiap pengujian**

1. Isilah halaman pertama dari format Data dan Perhitungan. Hal ini termasuk informasi tentang kompor, bahan bakar dan kondisi pengujian. Nomor masing-masing rangkaian pengujian untuk referensi selanjutnya.
2. Ukurlah setiap parameter berikut. Hasil pengukuran tersebut dicatat sekali untuk masing-masing rangkaian pengujian. Catatlah pengukurannya pada halaman 1 dari format Data dan Perhitungan.
  - a) Temperatur udara
  - b) Dimensi rata-rata kayu (panjang × lebar × tinggi). Ini memberikan ide kasar dari ukuran bahan bakar yang digunakan untuk pengujian. Anda harus menggunakan ukuran kayu yang sama untuk setiap pengujian untuk mengurangi variasi di dalam kondisi pengujian. Jika desain kompor memerlukan ukuran bahan bakar tertentu, maka Anda harus menggunakan ukuran optimalnya untuk kompor tersebut. Jika tidak, gunakan potongan berdiameter 2 – 5 cm (lihat Catatan 3 untuk pembahasan pengaruh variasi bahan bakar kayu terhadap performansi kompor).
  - c) Kandungan *moisture* kayu (% - basis basah): ditentukan 1) Dengan menimbang sampel bahan bakar, mengeringkan sampel secara lengkap dengan cara terkontrol, dan menimbanginya kembali atau 2) Dengan menggunakan meteran *moisture* kayu yang termasuk di dalam perlengkapan pengujian. (Lihat Catatan 4 dan bagian variabel dan perhitungan di bawah untuk detail lengkap mendefinisikan dan mengukur kandungan *moisture*). Format Data dan Perhitungan berisi lembar kerja khusus untuk mencatat dan memproses pengukuran Anda. Lihat format untuk penjelasan yang lebih detail.
  - d) Timbang panci standar yang disediakan tanpa tutup dalam keadaan kering. Jika lebih dari satu panci yang digunakan, catat berat kering masing-masing panci. Jika beratnya berbeda, pastikan panci-panci tersebut tidak membingungkan jika pengujian berjalan. Jangan menggunakan tutup panci untuk hal ini, atau tahapan lainnya dari WBT (lihat Catatan 5). Panci standar (yang disediakan bersama peralatan uji) harus digunakan jika memungkinkan (lihat catatan). Jika tidak cocok dengan kompor, gunakan panci yang biasa digunakan dan catat dimensinya di dalam bagian “komentar” pada lembar kerja Data dan Perhitungan.
  - e) Timbang wadah yang digunakan untuk arang.
  - f) Titik didih lokal ditentukan dengan menggunakan termometer digital dan sensor yang sama dengan yang digunakan di dalam pengujian (lihat Catatan 2).
  - g) Jika anda mempunyai sebuah kamera (tidak termasuk di dalam perlengkapan standar), fotolah kompor. Jika tidak, gunakan pita ukuran untuk mencatat dimensi kompor dan gambarkan di dalam ruang yang disediakan.
3. Persiapkan 2 ikat bahan bakar kayu. Bahan bakar tersebut harus sudah ditimbang lebih dahulu: satu untuk masing-masing dua tahapan pengukuran dalam pengujian. Bahan bakar harus relatif

seragam ukuran dan bentuknya: belahlah potongan kayu yang besar dan hindari menggunakan potongan berukuran kecil (kecuali untuk menyulut, yang juga harus dipersiapkan untuk pengujian selanjutnya jika perlu) (lihat Catatan 3).

4. Setelah parameter-parameter ini diukur dan dicatat dan bahan bakar dipersiapkan, lanjutkan dengan pengujian.

### Tahapan 1: Daya Tinggi

Data yang dicatat di dalam tahapan pengujian yang tersisa harus dicatat pada halaman dua dalam format Data dan Perhitungan.

1. Siapkan *timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.
2. Isi setiap panci dengan 5 kg (5 liter) air bersih temperatur ruangan (jika menggunakan panci standar berukuran kecil, isi panci dengan 2,5 kg atau 2,5 liter air). Jumlah air harus ditentukan dengan meletakkan panci di atas timbangan dan menambahkan air hingga berat total panci dan air adalah 5 kg (atau 2.5 kg) lebih berat dari berat panci saja. Catat berat panci dan air di dalam Lembar Data dan Perhitungan.  
(Jika kompor tidak memuat panci standar dan panci yang digunakan tidak muat 5 kg (atau 2,5 kg) air, atau jika kompor dengan multi panci digunakan bersama panci yang tidak standar tidak muat 5 kg (atau 2,5 kg) air, isilah setiap panci  $\sim 2/3$  penuh dan catat perubahan prosedur di dalam ruangan komentar. Catat berat panci dengan air pada Format Data dan Perhitungan. Gunakan jumlah air yang sama pada masing-masing ulangan pengujian).
3. Dengan menggunakan alat penahan dari kayu, pasang termometer di dalam masing-masing panci agar temperatur air bisa diukur pada bagian tengahnya, 5 cm dari dasarnya. Jika terdapat kelebihan panci, gunakan termometer tambahan jika mungkin. Catat temperatur awal air di dalam setiap panci dan pastikan temperatur tersebut tidak berubah terhadap temperatur sekeliling.
4. Kompor harus berada pada temperatur ruangan. Mulailah api dengan mengikuti cara setempat. Catatlah semua bahan-bahan awal yang digunakan selain kayu yang berasal dari ikatan pertama kayu yang telah ditimbang lebih dahulu (misalnya kertas atau minyak tanah).
5. Setelah api telah diperoleh, catatlah waktu mulainya. Di seluruh tahapan pengujian “daya tinggi” berikut, kontrollah api menggunakan cara lokal yang umum digunakan untuk menyebabkan panci pertama mendidih secara cepat tanpa memboroskan bahan bakar secara berlebihan.
6. Jika air di dalam panci pertama mencapai temperatur didih lokal yang telah ditentukan sebelumnya sebagaimana yang ditunjukkan oleh termometer digital, secara cepat lakukanlah sebagai berikut:
  - a) Catat waktu pada saat air di dalam panci utama (Panci #1) pertama kali mencapai temperatur didih lokal. Catat juga temperatur ini.
  - b) Keluarkan semua kayu dari kompor dan padamkan apinya (api dapat dipadamkan dengan meniup ujung potongan atau menaruhnya di dalam wadah abu atau pasir; jangan menggunakan air – air akan mempengaruhi berat kayu). Ketukkan semua arang yang lepas dari ujung kayu ke dalam wadah untuk menimbang arang.
  - c) Timbang kayu yang tidak terbakar yang dikeluarkan dari kompor bersama dengan sisa kayu dari ikatan yang telah ditimbang lebih dahulu. Catat hasilnya pada format data dan Perhitungan.
  - d) Untuk kompor dengan multi panci, ukurlah temperatur air dari setiap panci (panci utama harus berada pada titik didih). Catat temperaturnya pada Format Data dan Perhitungan.
  - e) Timbang setiap panci, bersama airnya. Catat beratnya pada format Data dan Perhitungan.

- f) Keluarkan semua sisa arang dari kompor, masukkan bersama arang yang lepas dari pengetukan potongan dan timbang semuanya. Catat berat dari arang + wadah pada Format Data dan Perhitungan.

### Ringkasan

- Pastikan Anda telah mencatat waktu dan temperatur air mendidih di dalam panci pertama, jumlah kayu yang tersisa, berat Panci #1 bersama air yang tersisa, dan jumlah arang yang tersisa pada Format Data dan Perhitungan. Untuk kompor dengan multi panci, pastikan Anda telah mencatat temperatur pada masing-masing panci tambahan dicapai jika Panci #1 pertama kali mencapai temperatur didih penuhnya.
- Ini menyelesaikan tahapan daya tinggi. Selanjutnya, mulailah pengujian daya tinggi start panas, secara langsung pada saat kompor masih panas. Hati-hati jangan membakar diri anda sendiri!

### Tahapan 2: Daya Tinggi (Start Panas)

1. *Reset timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.
2. Isi ulang panci dengan 5 kg (atau 2,5 kg) air dingin segar. Timbang panci (bersama air) dan ukur temperatur awal air; catat kedua pengukuran tersebut pada lembaran Data dan Perhitungan. Untuk kompor dengan multi panci, isi panci-panci tambahan, timbang dan catat beratnya.
3. Nyalakan api menggunakan penyulut dan kayu dari ikatan yang diberi tanda kedua yang telah ditimbang lebih dahulu untuk tahapan pengujian ini.
4. Catat waktu mulai, dan buatlah panci pertama mendidih secara cepat tanpa memboroskan bahan bakar secara berlebihan dengan menggunakan kayu dari ikatan kedua yang telah ditimbang lebih dahulu.
5. Catat waktu ketika panci pertama mencapai titik didih lokalnya sebagaimana ditunjukkan pada format Data dan Perhitungan. Catat temperatur ini untuk panci pertama.
6. Setelah mencapai temperatur didihnya, dengan cepat lekukan sebagai berikut (kecepatan penting pada tahapan ini karena diinginkan menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan temperatur didih agar memungkinkan untuk melanjutkan secara langsung ke pengujian *simmer*):
  - a. Keluarkan kayu yang tidak terbakar dari kompor. Ketukkan semua arang yang lepas, tetapi cobalah untuk menaruhnya di dalam daerah pembakaran (Anda tidak menimbang arang pada tahapan ini). Timbang kayu yang dikeluarkan dari kompor, bersama dengan kayu yang tidak terpakai dari berat yang disediakan sebelumnya. Catat hasilnya pada format Data dan Perhitungan.
  - b. Catat temperatur air dari panci-panci lainnya jika lebih dari satu panci yang digunakan.
  - c. Timbang setiap panci, bersama airnya dan catat beratnya. Setelah penimbangan, secara langsung ganti setiap panci yang berada di atas kompor (ingat, diinginkan menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan temperatur didih untuk langsung melanjutkan dengan pengujian *simmer*!).
7. Ganti dan nyalakan kembali kayu yang dikeluarkan dari api langsung lanjutkan dengan pengujian daya rendah.

### Tahapan 3: Daya Rendah (*Simmering*)

Bagian pengujian ini didesain untuk menguji kemampuan kompor untuk berpindah ke tahapan daya rendah mengikuti tahapan daya tinggi untuk mendidihkan air secara perlahan (*simmer*) selama 45

menit dengan menggunakan jumlah bahan bakar minimum. Untuk kompor dengan multi panci, hanya panci utama yang dinilai untuk performansi *simmering* (lihat pembahasan pengujian kompor multi panci di dalam Lampiran 5).

#### **Memulai Pengujian Daya Rendah**

1. *Reset timer.*
2. Keluarkan termometer di dalam panci. Atur api untuk menjaga air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didih yang ditetapkan.

*Dapat diterima jika temperatur berubah naik dan turun, tetapi:*

- Si penguji harus tetap waspada menjaga air yang mendidih secara perlahan (*simmering*) sedekat mungkin dengan 3 derajat C di bawah titik didih lokal (lihat catatan 6 dan 7).
- Pengujian tidak sah jika temperatur di dalam panci jatuh lebih dari 6°C di bawah temperatur didih lokal.

3. Selama 45 menit jagalah api pada tingkat yang menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didihnya.
4. Setelah 45 menit, secara cepat lakukan sebagai berikut:
  - a. Catat waktu selesai pengujian (ini harus 45 menit). Catat pengukuran ini dan semua sisa pengukuran pada Format Data dan Perhitungan di bawah judul "Selesai: 45 menit setelah Panci #1 mendidih".
  - b. Keluarkan semua kayu dari kompor dan ketukkan semua arang yang lepas ke dalam wadah arang. Timbang kayu yang tersisa, termasuk kayu yang tidak digunakan dari ikatan yang telah ditimbang lebih dahulu.
  - c. Catat temperatur akhir air pada Format Data dan Perhitungan – secara kasar tetap 3°C di bawah titik didih yang ditetapkan.
  - d. Timbang panci bersama air yang tersisa. Catat beratnya pada Format Data dan Perhitungan.
  - e. Keluarkan semua arang yang tersisa dari kompor dan timbanglah (termasuk arang lepas yang diketukkan dari potongan). Catat berat panci plus arang.

Ini menyelesaikan WBT. Pengujian harus dilakukan tiga kali untuk masing-masing kompor.

#### **Analisis**

Inputkan hasil dari WBT ini ke dalam software Data dan Perhitungan. Outputnya akan dapat ditampilkan di dalam lembar kerja "Hasil".

Walaupun pembahasan lengkap untuk teori statistik di luar cakupan pedoman pengujian kompor ini, kami mendasarkan pada beberapa ide dasar teori statistis untuk memutuskan apakah hasil pengujian tersebut dapat digunakan untuk membuat pernyataan tentang performansi model-model kompor yang berbeda atau tidak. Untuk pembahasan lanjut, lihat Lampiran 6.

#### **Catatan-Catatan untuk WBT**

1. **Panci:** Kapasitas, dimensi dan bahan panci memiliki pengaruh yang signifikan pada performansi kompor. Untuk memaksimalkan sifat-sifat yang dapat dibandingkan dari WBT terhadap jenis

kompore berbeda disarankan agar si penguji menggunakan salah satu dari dua panci standar bergantung pada desain dan output daya kompor yang diuji. Panci yang disarankan adalah 1) panci berukuran besar (dengan kapasitas 7 liter) dan 2) panci berukuran kecil (dengan kapasitas 3,4 liter) [SERTAKAN FOTO ATAU SKEMATIS PANCI]. Bergantung pada output daya kompor dan praktek memasak di daerah di mana kompor digunakan, si penguji harus menggunakan panci standar berukuran besar atau berukuran kecil kecuali jika kompor membutuhkan panci khusus agar berfungsi dengan baik. Jika si penguji menggunakan panci yang tidak standar, maka kapasitasnya, dimensi, berat, dan bahannya harus dicatat. Penggunaan panci yang tidak standar bisa membiaskan hasil dan membuatnya sulit untuk dibandingkan dengan WBT lainnya.

2. **Titik didih:** Titik didih lokal air adalah titik pada saat temperaturnya tidak lagi naik, tidak peduli berapapun banyaknya panas yang diberikan. Ini harus ditentukan secara empirik dengan mengikuti prosedur berikut: Masukkan 5 liter air ke dalam panci standar dan buatlah mendidih. Dengan menggunakan termometer yang sama dengan yang digunakan untuk pengujian, ukurlah temperatur didih jika termokopel diposisikan di tengah, secara kasar 5 cm di atas dasar panci. Si penguji akan mendapatkan bahwa sekalipun pada mendidih penuh (jika temperatur baru yang lebih tinggi tidak lagi diamati), temperaturnya beresilasi berkali-kali pada derajat di atas dan di bawah titik didih sebenarnya. Si penguji harus mencatat temperatur tersebut selama periode lima menit pada mendidih penuh dan mencatat temperatur maksimum dan minimum yang diamati selama periode ini. Temperatur maksimum dan minimum kemudian harus dirata-ratakan dan hasilnya dicatat sebagai "temperatur didih lokal" pada format data dan perhitungan. (Ini hanya perlu dilakukan sekali untuk lokasi pengujian anda).

Temperatur didih lokal dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk ketinggian tempat (dari permukaan laut), ketidak-akurasion minor di dalam termometer, dan kondisi cuaca. Dengan alasan tersebut, temperatur didih lokal tidak dapat diasumsikan sebesar 100°C. Untuk ketinggian tertentu  $h$  (dalam meter), titik didih air bisa diestimasi dengan rumus berikut:

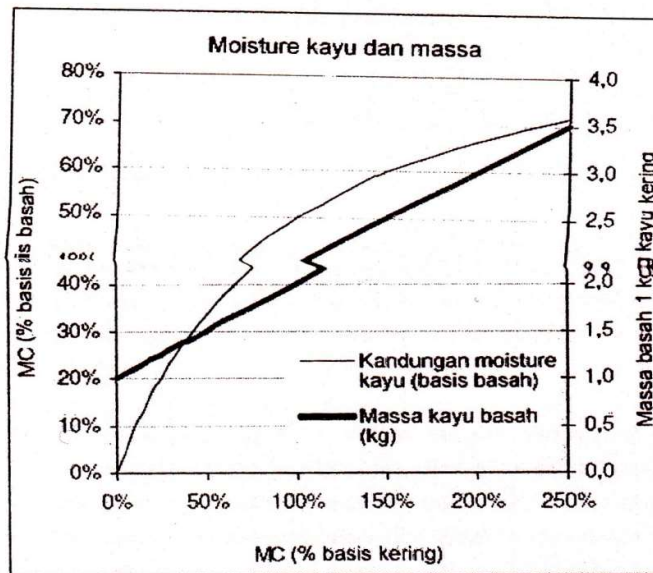
$$T_b = \left(100 - \frac{h}{300}\right) ^\circ\text{C}$$

3. **Bahan bakar:** Jenis dan ukuran bahan bakar dapat mempengaruhi hasil pengujian performansi kompor. Untuk meminimumkan variasi yang berpotensi ditambahkan oleh variasi di dalam karakteristik bahan bakar, VITA (1985) menyarankan mengambil tindakan pencegahan berikut:
  - Cobalah hanya menggunakan kayu (atau bahan bakar lainnya) yang seluruhnya telah kering karena udara. Potongan kayu berdiameter 3 – 4 cm membutuhkan 3 – 8 bulan untuk kering sepenuhnya. Kotoran hewan atau residu hasil panen dapat dipercepat dengan memastikan bahwa kayu disimpan dengan cara mensirkulasikan udara melaluinya.
  - Ukuran bahan bakar padat yang berbeda memiliki karakteristik pembakaran berbeda. Walaupun pengguna kompor tidak mempunyai kemampuan mengoptimalkan ukuran bahan bakar, si penguji harus mencoba hanya menggunakan kayu dengan ukuran yang sama untuk meminimumkan sumber variasi ini.
4. **Kandungan *moisture* kayu:** Bahan bakar yang dikeringkan dengan baik mengandung 10–20% air sementara potongan kayu segar bisa mengandung lebih dari 50% air menurut massa (basis basah). Idealnya, bahan bakar yang digunakan untuk pengujian kompor dan untuk memasak keringnya harus mendekati kondisi lingkungan lokal. Akan tetapi, bahan bakar kering tidak selalu tersedia dan si penguji dan tukang memasak rumah tangga harus menggunakan apa yang mereka dapatkan.

Untuk mengontrol variasi di dalam kandungan *moisture* bahan bakar, si penguji harus mengukurnya dan menghitungnya untuk perhitungan performansi kompornya. Jadi, terdapat ruang untuk kandungan *moisture* untuk diinputkan ke dalam format Data dan Perhitungan dan software. Terdapat dua cara mendefinisikan kandungan *moisture* bahan bakar: menurut basis basah dan basis kering. Lebih dahulu massa air di dalam bahan bakar dilaporkan sebagai persentase massa bahan bakar basah dan setelahnya, dilaporkan sebagai persentase massa bahan bakar kering. Perhitungan untuk masing-masing cara ditunjukkan di bawah diikuti dengan plot yang memperlihatkan bagaimana *moisture* kayu menurut basis basah dan massa kayu berubah terhadap *moisture* kayu yang didefinisikan menurut basis kering untuk 1 kg kayu yang dikeringkan dengan oven. Kecuali jika ditetapkan lain, *moisture* kayu dilaporkan menurut basis kering. Si penguji selalu harus berhati-hati menetapkan basis mana yang digunakan.

dan

Kedua kandungan *moisture* tersebut dihubungkan dengan cara:



Pengukuran kandungan *moisture* dapat dilakukan dengan dua cara. Cara yang paling teliti adalah menggunakan persamaan yang disebutkan di atas dengan menimbang sampel bahan bakar kering di udara (massa bahan bakar) basah dan menimbanginya kembali setelah sepenuhnya kering (massa bahan bakar) kering. Ambillah sampel bahan bakar berukuran kecil (200 – 300 g) secara



acak dari persediaan bahan bakar yang digunakan untuk pengujian. Timbang sampel dan catat massanya. Keringkan sampel di dalam oven pada beberapa derajat di atas 100°C dan timbang kembali. Ini bisa dilakukan di tempat pengujian jika oven tersedia, atau sampel basah bisa ditimbang di tempat pengujian kemudian disimpan dan dikeringkan selanjutnya, jika oven tersedia.

Untuk mengeringkan sampel, masukkan di dalam oven dan keluarkan kembali dan timbang sampel setiap dua jam pada timbangan sensitif (akurasi ±1g) hingga massanya tidak lagi berkurang. Temperatur oven harus dikontrol secara teliti agar tidak melebihi 110°C (230°F). Jika kayu dikenakan pada temperatur yang mendekati 200°C (390°F), maka akan terurai secara termal dan kehilangan unsur pokoknya yang bukan air, yang menyebabkan pengukuran kandungan *moisture* tidak akurat.

Cara yang kedua untuk mengukur *moisture* kayu adalah dengan meteran *moisture* kayu. Alat ini mengukur *moisture* bahan bakar menurut basis kering dengan mengukur konduktivitas antara dua *probe* runcing yang dimasukkan ke dalam kayu. Ini lebih baik dari pengeringan oven karena pengukurannya dapat langsung dilakukan secara cepat di tempat jika bahan bakar telah dipersiapkan. *Probe* harus dimasukkan sejajar dengan butiran kayu. Alat ukur tersebut dapat diatur untuk spesies berbeda dan di kalibrasi untuk temperatur sekeliling berbeda. Meteran dapat membaca *moisture* antara 6% dan 40% (basis kering). Jika sampel kayu lebih basah dari 40%, meteran akan menghasilkan kesalahan<sup>3</sup>. *Moisture* kayu bisa berubah dalam bagian potongan kayu demikian pula di antara potongan berbeda dari ikatan yang berbeda. Jika menggunakan meteran, ambil tiga potong kayu secara acak dari ikatan dan ukur setiap potongan pada tiga tempat. Ini menghasilkan sembilan pengukuran. *Moisture* ikatan dilaporkan sebagai rata-rata kesembilan pengukuran tersebut. Ubahlah rata-rata tersebut ke basis basah dengan menggunakan rumus (ini dilakukan secara otomatis di dalam spreadsheet komputer)

$$MC_{basah} = \frac{MC_{kering}}{MC_{kering} + 1}$$

Catat rata-ratanya di dalam lembar Data dan Perhitungan.

*Catatan – meteran moisture tidak didesain untuk mengukur bahan bakar yang bukan kayu dan jangan digunakan untuk kotoran hewan atau residu hasil panen. Jika kotoran hewan atau residu hasil panen digunakan, maka disarankan metode pengeringan dengan oven. Lihat Lampiran 3 untuk pembahasan selanjutnya.*

**Tutup panci:** WBT dilakukan tanpa tutup panci. Hal ini tampak berlawanan dengan kebiasaan, karena tutup panci umumnya menambah performansi kompor. Akan tetapi, tujuan utama dari WBT adalah mengukur panas yang dipindahkan dari kompor ke panci memasak. Walaupun tutup panci membantu menahan panas di dalam panci, dan oleh sebab itu digunakan dalam semua tugas memasak, tutup panci tidak mempengaruhi perpindahan panas dari kompor ke panci. Oleh sebab itu, tutup panci tidak diperlukan untuk WBT sekalipun tutup panci digunakan secara umum oleh masyarakat untuk maksud memperbaiki kompor.

---

40% *moisture* menurut basis kering ekuivalen secara kasar dengan 29% *moisture* menurut basis basah

Pada kenyataannya, tutup panci dapat menyulitkan WBT dengan menambah variabilitas hasil dan membuatnya lebih sulit untuk membandingkan hasilnya dengan pengujian yang berbeda. Sebagaimana Baldwin menulis, "jika tutup panci digunakan maka jumlah air yang diuapkan dan lepas sedikit bergantung pada ketatnya pemasangan tutup panci ke panci, dan sangat bergantung pada daya api. Jika daya api sangat rendah yang menjaga temperatur beberapa derajat di bawah didih, maka secara efektif tidak ada uap air yang lepas. Jika daya api cukup tinggi yang menyebabkan air mendidih, uap yang lepas akan mendorong tutup panci untuk membuka dan lepas," (dari Bab 5, catatan 2, hal. 263).

Air yang hilang memiliki efek yang berbeda pada masing-masing indikator performansi kompor. Akan tetapi, jika sulit menstandarisasikan "ke-ketat-an pemasangan" tutup panci, sekalipun untuk panci standar, si penguji disarankan tidak menggunakan tutup panci untuk WBT. Hal ini sedikit berpengaruh pada tahapan pengujian daya tinggi – indikator-indikator seperti konsumsi spesifik dan efisiensi termal relatif tidak peka terhadap air yang diuapkan.

Akan tetapi, indikator-indikator yang diturunkan dari pengujian daya rendah lebih peka terhadap jumlah air yang diuapkan. Kembali lagi, dari Baldwin, "Dengan tidak menggunakan tutup panci, laju penguapan lebih tinggi dan kompor seharusnya berjalan pada daya yang sedikit lebih tinggi untuk menjaga temperaturnya dibandingkan menggunakan tutup panci" (hal. 263).

6. **Kontrol daya:** Beberapa kompor kehilangan kemampuan turndown-nya. Si penguji mungkin mengetahui bahwa tidak mungkin menjaga temperatur yang diinginkan tanpa menghilangkan api (khususnya setelah beban arang awal di dalam kompor telah dikonsumsi). Jika hal tersebut terjadi, si penguji harus menggunakan jumlah kayu minimum yang diperlukan untuk menjaga api dari padam sepenuhnya. Temperatur air dalam hal ini menjadi lebih tinggi dari 3° di bawah didih, tetapi pengujiannya tetap sah. Si penguji tidak boleh berusaha mengurangi daya dengan memotong kayu menjadi potongan-potongan berdiameter lebih kecil lebih lanjut.
7. **Perubahan prosedur:** Pengukuran performansi kompor pada output daya tinggi dan rendah dapat memberikan indikasi bagaimana kompor berjalan dalam kondisi memasak sebenarnya. Jika kembali ke tahun 1985, beberapa ahli kompor mulai mempertanyakan sandaran kebijakan yang hanya pada perhitungan efisiensi termal, dan menyarankan agar kebijakan tersebut digantikan dengan standar lainnya:  
...beberapa prosedur yang dijelaskan di sini sangat berbeda dengan apa yang disarankan sebelumnya. Perbedaan utamanya berada di dalam konsep efisiensi yang digunakan. Standar tersebut didasarkan pada deskripsi yang lebih luas dan pembenaran efisiensi daripada persentase pemanfaatan panas (Percent Heat Utilized, PHU). Mereka menerjemahkan penguapan sebagai suatu ukuran energi yang diboroskan, bukan energi yang digunakan [2, hal. ix].

Pengujian yang diperbaiki yang diberikan di sini di dasarkan pada prosedur-prosedur yang diusulkan oleh VITA (1985) dan Baldwin (1987), tetapi disertai sedikit perubahan yang dijelaskan di bawah:

- Konsumsi spesifik didefinisikan sebagai rasio dari jumlah total kayu yang digunakan terhadap jumlah air "yang dimasak" [3], tetapi dimodifikasi untuk kompor dengan multi panci dengan memberikan panas yang dipindahkan ke panci memasak kedua (lihat Lampiran 5).

- Menjadi sulit membuat transisi yang rata dari pengujian daya tinggi ke daya rendah. Metode yang digunakan di dalam prosedur pengujian sebelumnya menyarankan pemadaman dan penimbangan kayu dan arang demikian pula penimbangan air panas mendidih, dan menyusun ulang api dan panci memasak dalam urutannya secara cepat, yang berisiko dan membuat stres. Versi WBT yang diperbaiki ini mengikuti saran yang dijelaskan di dalam Catatan Prosedur 3 VITA [2], yang membuat prosedur pengujian lebih santai dengan kehilangan akurasi yang minimal.
- Selama pengujian *simmer* daya rendah, si penguji dilatih untuk mencoba menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan 3°C di bawah titik didih yang telah ditetapkan lebih dahulu. Jumlah uap berbeda dihasilkan pada setiap derajat di bawah didih. Untuk alasan ini, maka perlu meminimumkan perubahan temperatur untuk memastikan bahwa pengujian dapat disamakan.
- Pengujian start panas yang tergabung di dalam tahapan daya tinggi untuk menghitung perbedaan performansi kompor yang tetap panas seharian. Ini penting untuk kompor raksasa, yang performansinya bias berubah secara signifikan antara kondisi start dingin dan panas.
- *Simmering* terjadi selama 45 menit bukannya 30 menit (seperti yang disarankan di dalam VITA, 1985) karena banyaknya jumlah arang terbentuk pada beberapa kompor selama tahapan daya tinggi dapat menyimpangkan hasil jika pengujian *simmering* terlalu singkat. Terdapatnya arang membantu menjaga jumlah kayu yang terbakar menjadi sedikit. Periode *simmering* 45 menit cukup panjang untuk kompor pada daya rendah untuk menetapkan kesetimbangan pembakaran, karena lebih arang yang terbentuk pada daya tinggi secara normal dikonsumsi selama 30 menit.

## REFERENSI

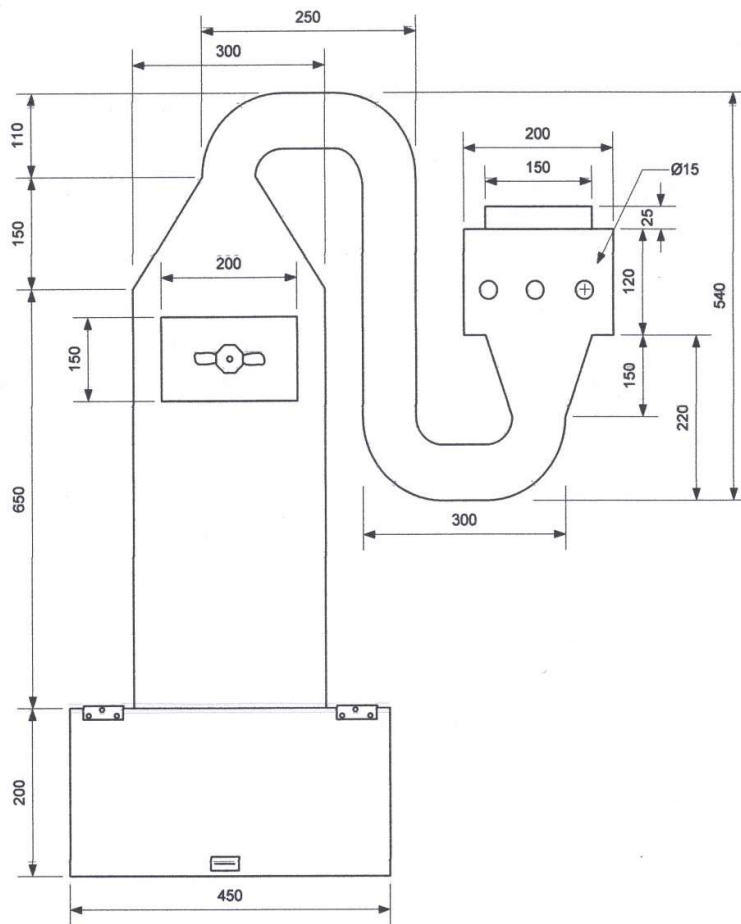
1. FAO, Wood fuel surveys. 1983, UN Food and Agriculture Organization: Rome.
2. VITA, Testing The Efficiency Of Wood-Burning Cookstoves: Provisional International Standards. 1985, Volunteers in Technical Assistance: Arlington, VA. p. 76.
3. Baldwin, S.F., Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination. 1986, Center for Energy and Environmental Studies: Princeton, NJ. p. 287.
4. Kishore, V.V.N. and P.V. Ramana, Improved cookstoves in rural India: how improved are they?: A critique of the perceived benefits from the National Programme on Improved Chulhas (NPIC). *Energy*, 2002. 27(1): p. 47-63.
5. World Bank, India: Household Energy, Indoor Air Pollution, and Health. 2002, World Bank Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP): Washington DC. p. 148.
6. FAO, Indian Improved Cookstoves: A Compendium. 1993, Regional Wood Energy Development Program (RWEDP): Bangkok. p. 109.
7. Edwards, R.D., et al., Implications of changes in household stoves and fuel use in China. *Energy Policy*, 2004. 32(3): p. 395-411.
8. Smith, K.R., et al., One Hundred Million Improved Cookstoves in China: How was it done? *World Development*, 1993. 21(6): p. 941-961.

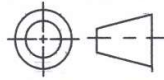
9. Zhang, J., et al., Greenhouse Gases and Other Airborne Pollutants from Household Stoves in China: A database for emission factors. *Atmospheric Environment*, 2000. 34: p. 4537-4549.
10. FAO, Chinese Fuel-Saving Stoves: A Compendium. 1993, Regional Wood Energy Development Program (RWEDP): Bangkok. p. 57.



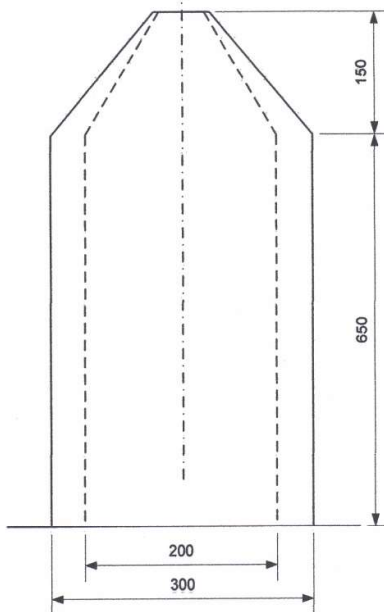
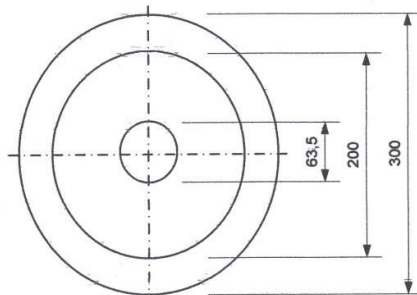


# **LAMPIRAN - G (DETAIL ALAT)**



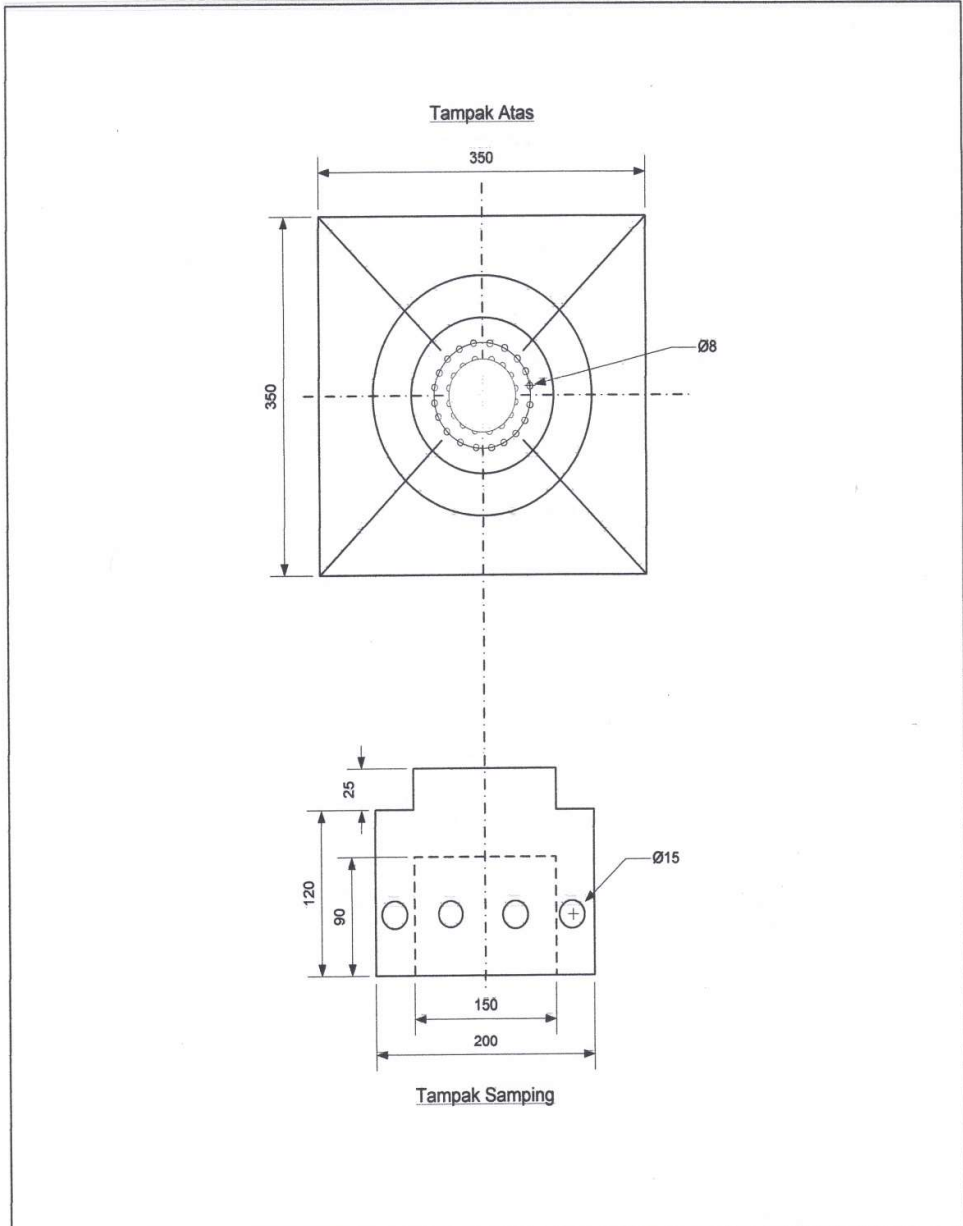
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			KOMPOR GAS BERBAHAN BAKAR KULIT KOPI™			Skala	Digambar	04/11/10	Team
						1:1	Diperiksa		
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						342 07 011 342 07 024 / A4			

Tampak Atas



Tampak Samping

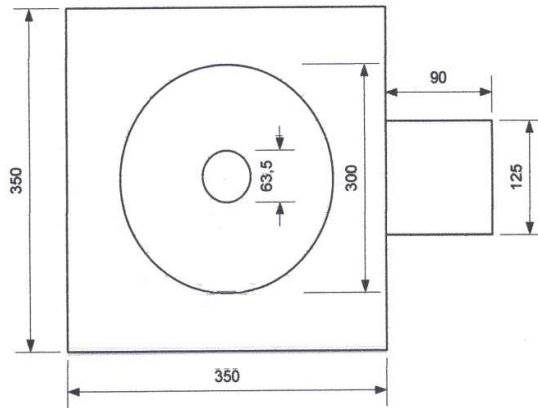
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			<b>REAKTOR</b>				Skala	Digambar	04/11/10
									1:1
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						342 07 011 342 07 024 / A4			



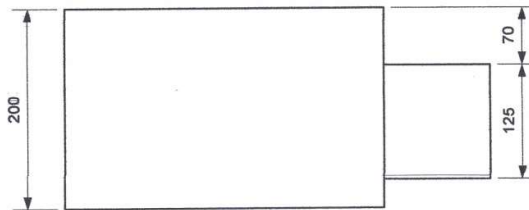
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			<b>SUNGKUP</b>			Skala	Digambar	04/11/10	Team
						1:1	Diperiksa		
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						342 07 011 342 07 024 / A4			



Tampak Atas

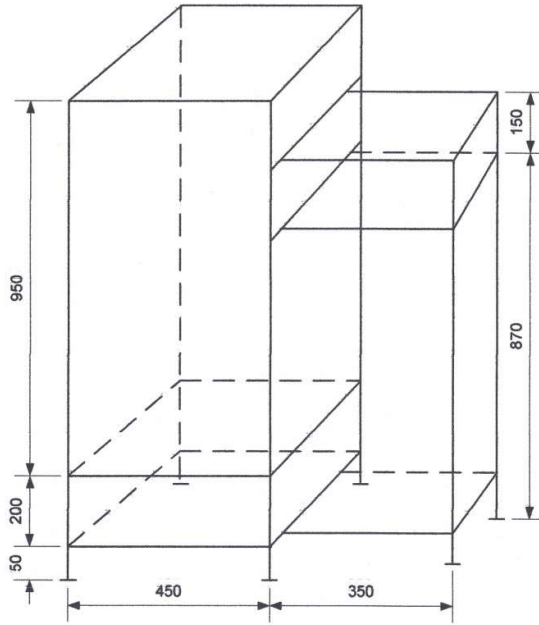
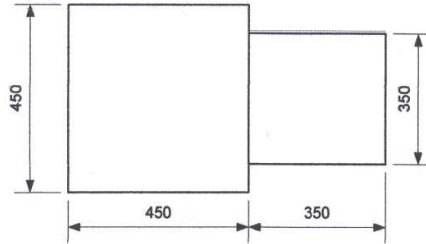


Tampak Samping



Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			<b>KOTAK ABU</b>			Skala	Digambar	04/11/10	Team
						1:1	Diperiksa		
<b>POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG</b>						342 07 011 342 07 024 / A4			

Tampak Atas



Keseluruhan

Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			<b>RANGKA</b>			Skala	Digambar	04/11/10	Team
						1:1	Diperiksa		
<b>POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG</b>						342 07 011 342 07 024 / A4			



# **LAMPIRAN - H**

## **(Cp Air)**

## Lampiran H

Tabel 6.  $c_p$  air.

temperatur		$\rho(\text{kg/m}^3)$	$c_p(\text{J/kg.K})$	$k(\text{w/m.K})$	$\alpha(\text{m}^2/\text{s})$	$\nu(\text{m}^2/\text{s})$	Pr
K	$^{\circ}\text{C}$						
305	32	995,0	4180	0,6184	1,487	7,708	5,18
310	37	993,3	4179	0,6260	1,508	6,982	4,63
320	47	989,3	4181	0,6396	1,546	5,832	3,77
340	67	979,5	4189	0,6605	1,610	4,308	2,68
360	87	967,4	4202	0,6737	1,657	3,371	2,03
373,15	100	958,3	4216	0,6791	1,681	2,940	1,75
400	127	937,5	4256	0,6836	1,713	2,332	1,36

Sumber: John H.Lienhar IV dan John H.Lienhar V(A Heat Transfer Text Book  
Third Edition)





# **LAMPIRAN - I**

## **(Sifat-sifat Bahan Bakar)**

**REPUBLIK INDONESIA**  
**DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI**  
**DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI**

**PERATURAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI**  
**No.: 002 / P /D.M/Migas/1979.**

**TENTANG**  
**SPESIFIKASI BAHAN BAKAR MINYAK**

DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI,

- : bahwa setelah mempertimbangkan segi-segi teknis ekonomis kemampuan kilang dan kebutuhan pemakai, dianggap perlu untuk menetapkan spesifikasi dan mutu bahan bakar minyak untuk keperluan dalam negeri dengan suatu Peraturan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi;
- : 1. Undang - undang No. 44 Prp tahun 1960,  
( L.N. tahun 1960 No. 133, T.L.N. No. 2070 );
2. Undang - undang No. 8 tahun 1971  
( L.N. tahun 1971 No. 76, T.L.N. No. 2971 );
3. Keputusan Presiden No. 155/M.tahun 1978  
tanggal 15 Juli 1978;
4. Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi  
No. 18.Kpts/D.J/Migas/1977 tanggal 24 Maret 1977;

M E M U T U S K A N :

PERATURAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI  
TENTANG SPESIFIKASI BAHAN BAKAR MINYAK.

**Pasal 1**

Dalam Peraturan ini yang dimaksud dengan :

- a. bahan bakar minyak adalah hasil-hasil pengolahan minyak bumi yang berupa :
- Bensin Penerbangan 73 ( Avgas 73);
  - Bensin Penerbangan 100/130 (Avgas 100/130);
  - Bahan Bakar Jet (Avtur);
  - Bensin Super (Super 98);
  - Bensin Premium (Premium);
  - Minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar

- b. spesifikasi adalah batasan minimum dan atau maksimum dan pada sifat-sifat tertentu bahan bakar minyak dengan menggunakan metode tertentu.

#### Pasal 2

Bahan bakar minyak yang dihasilkan di dalam negeri dan atau diimpor untuk keperluan dalam negeri harus memenuhi spesifikasi sebagaimana ditentukan dalam LAMPIRAN Peraturan ini.

#### Pasal 3

TEAM SPESIFIKASI BAHAN BAKAR MINYAK termaksud dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 18/Kpts/D.J/Migas/1977 tanggal 24 Maret 1977 - selanjutnya disebut TEAM SPESIFIKASI - melakukan penelitian secara rutin terhadap pengadaan dan kebutuhan bahan bakar minyak serta reaksi pemakai atas spesifikasi termaksud dalam Pasal 2 Peraturan ini.

#### Pasal 4

Peraturan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkannya.

Ditetapkan di : Jakarta  
pada tanggal : 25 Mei 1979

DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

dto

Ir. WIJARSO  
NIP.:100001999

Salinan Peraturan ini disampaikan kepada :

1. Yth. Menteri Penambangan dan Energi;
2. Unit-unit dalam lingkungan Dit. Jen.Migas;
3. Direktur Utama PERTAMINA;
4. Direktur Pengolahan PERTAMINA;
5. Direktur PDN PERTAMINA;
6. Kepala PPTMGB LEMIGAS.

### B. Bensin Penerbangan 100/130 (Avgas 100/130)

Sifat	Batasan		Metoda Test	
	Min.	Max:	ASTM	Lain
Appearance	Visually clear, bright and free from solid matter and undissolved water at normal ambient temperature			
API Gravity at 60 °F	To be reported		D-287	
Specific Gravity at 60/60 °F	To be reported		D-1289	IP-160
Colour	Green			VISUAL
Dye Content : Blue	mgr/IG	3.242		
Yellow	mgr/IG	4.091		
Colour Lovibond 2" cell:	Blue	1.7		IP-17
	Yellow	1.5		
<b>Knock Ratings:</b>				
Lean Mixture F-2	MON	99	D-2700	
Rich Mixture F-4	PN	130	D-909	
T.E.L.	mls/AG		4.0	IP-96
Aniline Gravity Product or		7.500	D-611&1298	IP-2&160
Calorific Value Nett	BTU/lb	16.700	D-240	
<b>Distillation:</b>				
Initial Boiling Point		Report	D-86	
Evap. to 75 °C	% vol	10		
Evap. to 105 °C	% vol	50		
Evap. to 135 °C	% vol	90		
End Point	°C		170	
Sum of 10%+50% evap.	°C	135		
Residue	% vol		1.5	
Loss	%vol		1.5	
R.V.P. at 100 °F	psi	5.5	7.0	D-323/ 2551
Total Sulphur	% wt		0.05	D-1 266
Copperstrip Corrosion 2 hrs/212 °F			ASTM No. 1	D-130
Existant Gum (air jet)	mgr/100ml		3	D-381
Potential Gum ( 16 hrs)	mgr/100ml		6.0	D-873
cc. Gum Precipitate	mgr/100ml		2.0	D-873
Freezing Point	°C		Minus 60	D-23 86
			D-1094	IP-16
				IP-289
<b>Water Reaction:</b>				
Change in Volume	ml		2	
Interface Rating			2	
Separation Rating			++ 2	
Anti Oxidant as approved	mg/ltr	19.1	24	
Complies with DERD 2485 issue 7 except T.E.L. content				
) Complies with DERD 2485 issue 6.				



Note 1 : The net calorific value shall be calculated from the gross calorific value by applying the formula :

$$\text{Net Btu IT/lb} = 4310 + 0,7195 \text{ times gross Btu IT/lb}$$

Note 2 : Calculate the API Gravity from the determined 60/60 °F Specific Gravity as follows :

$$\text{Degree API} = \frac{141,5}{\text{SG at 60/60 °F}} - 131,5$$

Determine Aniline Point (°F), then

$$\text{Aniline Gravity Product} = \text{API Gravity times Aniline Point (°F)}$$

Note 3 : The Visual colour of correctly dyed fuels should, if quantified by IP 17 (method A) using a 2 inch cell, comply with the following table

Colour,	Lovibond Units	Limits	
		Grade 100/130	Grade 115/145
Blue,	min	1.7	1.4
	max	2.8	2.1
Yellow,	min	1.5	-
	max	2.7	-
Red,	min	-	1.6
	max	-	3.3

Note 4 : Knock rating shall be reported to the nearest 0.1 Octane/Performance Number.

Note 5 : IP 69 shall be used for referee purpose.

Note 6 : ASTM D526/IP 96 shall be used for referee purpose.

To convert g Pb/unit volume to ml TEL/unit volume, multiply g Pb by the factor 0.946  
The limits given in Table II have the following equivalences ...

g Pb/litre	ml TEL/litre	ml TEL/Imp G
0.85	0.80	3.64
1.28	1.21	5.52

Note 7 : The test cylinder shall be viewed in a good light but not directly against a white background (as is directed by IP 289/72). Nevertheless any slight cloudiness in the fuel layer which is no longer visible when viewed against a white background shall be disregarded.

F. Minyak Tanah				
Sifat	Batasan		Metoda Test	
	Min.	Max.	ASTM	Lain
Specific Gravity at 60/60 °F		0.835	D-1298	
Colour Lovibond 18" cell or		2.50		IP-17
Colour Saybolt	9		D-156	
Smoke Point mm	16 <sup>1)</sup>		D-1322	IP-57
Char Value mg/kg		40		IP-10
<b>Distillation:</b>			D-86	
Recovery at 200 °C % vol	18			
End Point °C		310		
Flashpoint Abel or °F	100			IP - 170
alternatively Flashpoint TAG °F	105		D-56	
Sulphur Content % wt		0.20	D-1266	
Copperstrip Corrosion (3 hrs / 50 °C)		No. 1	D-130	
Odour	Marketable			

1) Jika Smoke Point ditentukan dengan ASTM D-1322 maka batasan minimum diturunkan dari 16 menjadi 15.

G. Minyak Solar				
Sifat	Batasan		Metoda Test	
	Min	Max	ASTM	Lain
Specific Gravity at 60/60 °F	0.820	0.870	D-1298	
Calorific Value Gross	18000		D-240	
Cetane Number or	45		D-613	
alternatively Calculated Cetane Index	48		D-976	
Viscosity Kinematic at 100 °F	1.6	5.8	D-445	
or Viscosity SSU at 100 °F	35	45	D-89	
Pourpoint		65	D-97	
Sulphur Content		0.5	D-1551/1552	
Copperstrip (3 hrs/ 100 °C)		No 1	D-130	
Conradson Carbon Residue			D-169	
(on 10% vol bottom)		0.1		
Water Content		0.05	D-95	
Sediment		0.01	D-473	
Ash Content		0.01	D-482	
<b>Neutralization Value</b>			D-974	
Strong Acid Number	mg KOH/gr	Nil		
Total Acid Number	mg KOH/gr	0.6		
Flash Point P.M.c.r	°F	150	D-93	
<b>Distillation</b>			D-66	
Recovery at 300 °C	% vol	40		

### H. Minyak Diesel

Sifat	Batasan		Metoda Test	
	Min.	Max.	ASTM	Lain
Specific Gravity at 60/60 °F	0.840	0.920	D-1298	
Viscosity Redwood 1/100 °F	secs	35	45	D-445 <sup>1)</sup> IP - 70
Pourpoint	°F		65	D-97
Sulphur Content	% wt		1.5	D-1551/1552
Conradson Carbon Residue	% wt		1.0	D-189
Water Content	% vol		0.25	D-95
Sediment	% wt		0.02	D-473
Ash	% wt		0.02	D-482
<b>Neutralization Value</b>				
Strong Acid Number	mg KOH/gr		Nil	D-974
Flashpoint P.M. c.c.	°F	150		D-93
Colour ASTM		6		D-1500

↳ Konversi dari Kinematic Viscosity